



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS
PARA EL ESTUDIO DEL TENSADO ÓPTIMO DE
LAS CORREAS TRAPEZOIDALES MEDIANTE
ANÁLISIS VIBRACIONAL Y ENERGÉTICO, PARA
LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”**

CACUANGO EUGENIO LUIS FABIAN

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2016-05-23

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CACUANGO EUGENIO LUIS FABIAN

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DEL
TENSADO ÓPTIMO DE LAS CORREAS TRAPEZOIDALES MEDIANTE
ANÁLISIS VIBRACIONAL Y ENERGÉTICO, PARA LA FACULTAD DE
MECÁNICA DE LA ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Hernández
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Verónica López
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CACUANGO EUGENIO LUIS FABIAN

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA EL ESTUDIO DEL TENSADO ÓPTIMO DE LAS CORREAS TRAPEZOIDALES MEDIANTE ANÁLISIS VIBRACIONAL Y ENERGÉTICO, PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2017-01-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Hernández DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Verónica López ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados es de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Cacuango Eugenio luis Fabian
060440992-0

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Luis Fabian Cacuango Eugenio, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. El texto constante en el documento que proviene de otra fuente está debidamente citadas y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Cacuango Eugenio luis Fabian
060440992-0

DEDICATORIA

Este trabajo dedico con mucho cariño a todas las personas que hicieron lo posible para cumplir este objetivo, en especial dedico con mucho amor a mi madre Eugenio Cacuango María, por el gran esfuerzo y sacrificio. También dedico a mis hermanos Elsa y Jaime por el apoyo incondicional y por permanecer a mi lado en los buenos y en los malos momentos

Fabian Cacuango Eugenio

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a dios por el gran amor y la sabiduría que me dio e infinitamente a madre Eugenio Cacuango María y a mis hermanos por el gran cariño.

Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, en especial a la escuela de ingeniería de mantenimiento, por abrirme las puertas y formarme en esta hermosa profesión.

Fabian Cacuango Eugenio

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, tiene como objetivo realizar la construcción de un módulo de prueba para el estudio del tensado óptimo de las correas trapezoidales, con la finalidad de colaborar el aprendizaje del estudiante y ayudar al equipamiento del laboratorio de diagnóstico técnico de la escuela de ingeniería de mantenimiento. Se inició por la modelación del banco de pruebas en el software Solidwork, la selección de la polea, correa trapezoidal, motor eléctrico y alternador, la simulación estática de la placa de tensión y finalmente se ejecutó el montaje y puesta en operación. Para determinar el tensado óptimo del sistema de transmisión se analizó el cálculo de la tensión de la correa trapezoidal mediante un análisis estático del sistema y se analizó el deslizamiento, análisis de la calidad energética y diagnóstico de vibraciones, con los métodos de la flecha constante y frecuencia de vibraciones, para las mediciones se utilizó los equipos de vibracheck 200 ABG y el Fluke 435 serie II. Se obtuvo que el sistema de transmisión es más eficiente si se trabaja con correas trapezoidales de alto rendimiento y el método adecuado para realizar el tensado es la frecuencia de vibraciones. Con los resultados obtenidos mediante el análisis experimental se pudo establecer una ecuación empírica que permite calcular el deslizamiento en función de la tensión de la banda. El módulo de pruebas brinda las facilidades para realizar el estudio del tensado de las correas trapezoidales. Se recomienda almacenar en un lugar limpio y seco, libre de polvo, vibraciones, gases y agentes corrosivos y con una humedad relativa del aire no superior al 60%.

PALABRAS CLAVE: < SISTEMAS DE TRASMISIÓN >, <SELECCIÓN DE LAS CORREAS TRAPEZOIDALES>, <DESLIZAMIENTO EN CORREAS TRAPEZOIDALES>, <ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN CORREAS TRAPEZOIDALES>, <ANÁLISIS DE LA CALIDAD >, <TENSIÓN DE CORREAS TRAPEZOIDALES>, <EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS>

ABSTRACT

The present work centered out the creation of a test module for the study of the optimal tightening of v-belts, in order to contribute with student learning and help the laboratory equipment of technical diagnosis of the engineering of maintenance school. The development of this work started by modeling the test bench in the Solidworks software, the selection of pulley, v-belt, electric motor and alternator, the static simulation of tension plate and finally executed the mounting and start-up of operations. Determining the optimal tightening of v-belts of transmission system was calculated the tension optimum by means of a static analysis of the system and analysis slippage, analysis of energy quality and diagnosis of vibration, with the methods of vibration frequency and constant arrow; the equipment of vibracheck 200 ABG and the Fluke 435 series II were used for the measurements. It obtained that the transmission system is more efficient if it is working with high performance v-belts and the proper method for tensioning is the frequency of vibration. The results obtained through the analysis experimental were that it could establish an equation empirical that allows calculating the sliding depending on the tension of the band. Test module provides facilities for the study of tensioning the v-belts. It recommends storing in a place clean and dry, free of dust, vibrations, gases and agents corrosive and with a humidity relative of the air not higher to the 60%.

KEYWORDS: <TRANSMISSION SYSTEMS>, <V-BELTS> <SOLIDWORKS

<SOFTWARE>, <VIBRATION ANALYSIS >, < QUALITY ANALYSIS >

<TENSION OF V-BELTS>, < ENERGY EFFICIENCY >, <ELECTRIC ENGINES>

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN.	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO.	
2.1	Generalidades de elementos mecánicos flexibles.....	3
2.2	Tipo de correas.....	3
2.3	Correas trapezoidales.....	3
2.3.1	<i>Tipos de correas trapezoidales</i>	4
2.3.1.1	<i>Perfil normal o clásico (ISO 4184)</i>	4
2.3.1.2	<i>Perfil estrecho o de alto rendimiento (ISO 4184)</i>	4
2.4	Selección de la correa trapezoidales.....	5
2.4.1	<i>Relación de transmisión(K).</i>	5
2.4.2	<i>Selección del diámetro primitivo de la polea</i>	5
2.4.3	<i>Potencia corregida(Pc)</i>	6
2.4.4	<i>Límites de distancia entre centros(C).</i>	6
2.4.5	<i>Longitud primitiva de la correa(L)</i>	7
2.4.6	<i>Factor de corrección de la longitud(Fcl).</i>	7
2.4.7	<i>Parámetros del ángulo de contacto</i>	7
2.4.7.1	<i>Cálculo del ángulo de tangencia (α).</i>	8
2.4.7.2	<i>Arco de contacto(β)</i>	8
2.4.7.3	<i>Factor de corrección del arco de contacto ($Fc\beta^2$).</i>	8
2.4.8	<i>Velocidad de la correa(V)</i>	9
2.4.9	<i>Prestación base o potencia base(Pbk).</i>	9
2.4.10	<i>Potencia efectiva(Pe).</i>	10
2.4.11	<i>Cantidad de correa</i>	10
2.5	Tensado de las correas.....	10
2.6	Tipos de tensados de correas trapezoidales.....	10
2.6.1	<i>Método de la flecha constante</i>	10
2.6.2	<i>Cálculo del tensado mediante el método la flecha constante</i>	11
2.6.2.1	<i>Tramo libre (Ls)</i>	11
2.6.2.2	<i>Deflexión(Y).</i>	11
2.6.2.3	<i>Fuerza de deflexión.</i>	11
2.6.3	<i>Método de la frecuencia de vibraciones.</i>	12
2.6.3.1	<i>Cálculo del tramo libre (ls).</i>	12
2.6.3.2	<i>La tensión del ramal .</i>	12
2.7	Vibración.....	13
2.7.1	<i>Parámetro de vibraciones</i>	14
2.7.1.1	<i>Frecuencia angular(ω).</i>	14
2.7.1.2	<i>Periodo (T).</i>	14
2.7.1.3	<i>Frecuencia (f).</i>	14
2.7.1.4	<i>Ciclo.</i>	14

2.7.1.5	<i>Amplitud</i>	14
2.7.2	<i>Medidas de amplitud de vibraciones</i>	15
2.7.3	<i>Descripción de los niveles de vibración</i>	15
2.7.3.1	<i>Desplazamiento(D)</i>	15
2.7.3.2	<i>Velocidad (V)</i>	15
2.7.3.3	<i>Aceleración (a)</i>	16
2.7.4	<i>Unidades de vibración</i>	16
2.8	<i>Vibración simple</i>	16
2.9	<i>Vibración compuesta</i>	17
2.9.1	<i>Espectro de vibración</i>	17
2.9.2	<i>Frecuencia natural(Fn)</i>	18
2.10	<i>Normativas de vibración</i>	18
2.10.1	<i>Norma ISO 10816-1</i>	18
2.10.2	<i>Severidad de vibraciones</i>	18
2.11	<i>Punto de ubicación de los sensores de vibraciones</i>	19
2.12	<i>Diagnóstico de bandas</i>	19
2.12.1	<i>Frecuencia fundamental de la banda calculada (FFB)</i>	20
2.13	<i>Calidad energética en los motores eléctricos</i>	20
2.14	<i>Carga de un motor eléctrico</i>	20
2.14.1	<i>Eficiencia del motor eléctrico(η)</i>	20
2.14.2	<i>Potencia de entrada nominal</i>	20
2.14.3	<i>Potencia de salida nominal(P_s)</i>	21
2.14.4	<i>Carga de un motor eléctrico (carga)</i>	21
2.14.5	<i>Desbalance de voltaje</i>	22
2.14.6	<i>Curva de rendimiento de los motores eléctricos WEG</i>	22

3. MODELACIÓN, SELECCIÓN DE ELEMENTOS, MONTAJE Y PUESTA EN OPEACIÓN.

3.1	<i>Principales elementos del módulo</i>	23
3.2	<i>Modelación de los elementos</i>	24
3.2.1	<i>Modelación de la base del módulo</i>	24
3.2.1.1	<i>Simulación de la placa de tensión</i>	25
3.3	<i>Selección de elementos del módulo de pruebas</i>	25
3.3.1	<i>Selección del motor eléctrico</i>	26
3.3.2	<i>Selección del alternador</i>	26
3.4	<i>Selección de polea mayor</i>	26
3.4.1	<i>Polea mayor</i>	27
3.4.1.1	<i>Relación de trasmisión</i>	27
3.4.1.2	<i>Diámetro primitivo de la polea mayor</i>	27
3.4.1.3	<i>Características de la polea mayor</i>	27
3.5	<i>Selección de la correa</i>	28
3.5.1	<i>Potencia corregida</i>	28
3.5.2	<i>Límite de distancia entre centros(C)</i>	28
3.5.3	<i>Longitud primitiva de la correa(L)</i>	28
3.5.4	<i>Factor de corrección de la longitud (Fcl)</i>	29
3.5.5	<i>Cálculo del ángulo de contacto (α)</i>	29
3.5.5.1	<i>Arco de contacto mayor (β_1)</i>	29
3.5.5.2	<i>Arco de contacto menor(β_2)</i>	29
3.5.5.3	<i>Factor de corrección del arco de contacto($F_c\beta_2$)</i>	30

3.5.6	<i>Velocidad de la correa (V)</i>	30
3.5.7	<i>Prestación base (PbK)</i>	30
3.5.8	<i>Potencia efectiva por correa (Pe)</i>	30
3.5.9	<i>Cantidad de correas en el sistema de transmisión</i>	31
3.6	<i>Montaje del banco de pruebas</i>	31
3.6.1	<i>Montaje del motor eléctrico</i>	31
3.6.2	<i>Montaje del alternador</i>	31
3.6.3	<i>Montaje de la báscula digital</i>	32
3.6.4	<i>Montaje de la correa trapezoidal</i>	32
3.7	<i>Circuito de mando y de potencia del motor eléctrico</i>	33
3.8	<i>Circuito de mando y de potencia del alternador</i>	33
4.	CÁLCULO DE LA TENSIÓN, DESLIZAMIENTO Y MEDICIÓN.	
4.1	<i>Cálculo de la tensión mediante análisis estático</i>	35
4.1.1	<i>Cálculo de ángulo de la T y T1</i>	35
4.1.1.1	<i>Ángulos (φ)</i>	36
4.1.1.2	<i>Cálculo del ángulo (β)</i>	36
4.1.2	<i>Diagrama de cuerpo libre</i>	36
4.1.3	<i>Componentes rectangulares de la T, T1 y R</i>	37
4.1.4	<i>Sumatoria de fuerzas en el eje de las abscisas</i>	38
4.1.5	<i>Sumatoria de fuerzas en el eje ordenadas</i>	38
4.1.6	<i>Sumatoria de momento en punto O</i>	38
4.1.6.1	<i>Cálculo de las distancias perpendiculares</i>	39
4.1.6.2	<i>Sumatoria de momento en el punto O</i>	40
4.1.7	<i>Sistema de ecuación</i>	40
4.1.8	<i>Cálculo de la fuerza ejercida por el alternador(W)</i>	40
4.1.9	<i>Cálculo de las tensiones (T y T1) del sistema de transmisión</i>	40
4.1.9.1	<i>Ecuación de la tensión T1 con el método de los mínimos cuadrados</i>	41
4.2	<i>Deducción del deslizamiento del sistema de transmisión</i>	42
4.2.1	<i>Deducción del deslizamiento(Dz) del sistema de transmisión</i>	42
4.2.1.1	<i>Cálculo de la eficiencia del sistema de transmisión(efic.tras)</i>	43
4.2.1.2	<i>Cálculo del deslizamiento(Dz)</i>	45
4.3	<i>Mediciones de la calidad de energía en el banco de pruebas</i>	46
4.3.1	<i>Calidad energética en el banco de prueba</i>	46
4.3.2	<i>Cálculo de la carga del motor eléctrico</i>	47
4.3.3	<i>Medición de la calidad energética en correas de alto rendimiento</i>	48
4.3.3.1	<i>Ecuación de la tensión T1 en función de la potencia activa P</i>	48
4.3.4	<i>Medición de la calidad energética en correas de perfil clásico</i>	49
4.3.4.1	<i>Ecuación de la tensión T1 en función de la potencia activa P</i>	50
4.4	<i>Mediciones de vibraciones en el banco de pruebas</i>	51
4.4.1	<i>Cálculo de las frecuencias dominantes en el sistema de transmisión</i>	52
4.4.1.1	<i>Frecuencia fundamental de banda FFB. calculada</i>	52
4.4.1.2	<i>Cálculo de la frecuencia fundamental</i>	52
4.4.2	<i>Frecuencia fundamental de banda natural (FFB.N)</i>	53
4.4.3	<i>Espectro de velocidad en correas de alto rendimiento SPA-23</i>	53
4.4.4	<i>Toma de datos de vibraciones en correas de alto rendimiento</i>	54
4.4.4.1	<i>Ecuación de la tensión T1 en función de RMS</i>	55
4.4.5	<i>Espectro de velocidad en correas de perfil clásico A-23</i>	56
4.4.6	<i>Toma de datos de vibraciones en correas de perfil clásico</i>	57

4.4.6.1	<i>Ecuación de la tensión T1 en función de RMS</i>	57
4.5	<i>Cálculo de la tensión con el método de la flecha constante</i>	58
4.5.1	<i>Cálculo del tramo libre(Ls)</i>	58
4.5.2	<i>Cálculo de la deflexión (y)</i>	59
4.5.3	<i>Tensión de la correa con el método de la flecha constante</i>	59
4.5.4	<i>Deslizamiento con el método de la flecha constante</i>	59
4.5.5	<i>Calidad energética con el método de la flecha constante</i>	60
4.5.6	<i>Análisis vibracional con el método de la flecha constante</i>	60
4.6	<i>Cálculo de la tensión con el método de la frecuencia de vibraciones</i>	61
4.6.1	<i>Cálculo del tramo libre (ls)</i>	61
4.6.2	<i>Frecuencia natural para correas de alto rendimiento SPA-23</i>	61
4.6.3	<i>Frecuencia natural para correas de perfil clásico A-23</i>	62
4.6.4	<i>Cálculo de la tensión del ramal (Tramal)</i>	63
4.6.5	<i>Tensión de la correa con el método de la frecuencia de vibraciones</i>	63
4.6.6	<i>Deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones</i>	64
4.6.7	<i>Calidad energética con el método de frecuencia de vibraciones</i>	64
4.6.8	<i>Análisis vibracional con el método de frecuencia de vibraciones</i>	64
5.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	
5.1	<i>Tensiones T1 del sistema de transmisión</i>	66
5.2	<i>Resultados del deslizamiento y eficiencia de transmisión</i>	67
5.2.1	<i>Resultado de deslizamiento en correas de alto rendimiento</i>	67
5.2.2	<i>Resultado de deslizamiento en de perfil clásico A-23</i>	67
5.3	<i>Análisis vibracional en el sistema de transmisión</i>	68
5.3.1	<i>Análisis vibracional en correas de alto rendimiento SPA-23</i>	68
5.3.2	<i>Resultados de vibración en correas de perfil clásico A-23</i>	70
5.4	<i>Resultado de la calidad energética</i>	72
5.4.1	<i>Resultado de la calidad energética en correas de alto rendimiento</i>	73
5.4.2	<i>Resultado de la calidad energética con correas de perfil clásico A-23</i> . 73	
5.5	<i>Análisis de resultado con el método de la flecha constante</i>	74
5.6	<i>Análisis de resultado con el método de la frecuencia de vibraciones</i>	76
5.7	<i>Correas trapezoidales SPA-23 Vs correas de perfil clásico A-23</i>	77
5.7.1	<i>Deslizamiento en correas SPA-23 vs correas de perfil clásico A-23</i>	77
5.7.2	<i>Vibraciones en la correa SPA-23 vs correas de perfil clásico</i>	78
5.7.3	<i>Calidad energética en la correa SPA-23 vs correas de perfil clásico</i>	78
5.8	<i>Tensado óptimo en el sistema de transmisión</i>	79
5.9	<i>Método de la flecha constante vs método de la frecuencia de vibración</i> .80	
5.9.1	<i>Deslizamiento en flecha constante vs frecuencia de vibración</i>	81
5.9.2	<i>Calidad energética en flecha constante vs frecuencia de vibración</i>	81
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
6.1	<i>Conclusiones</i>	82
6.2	<i>Recomendaciones</i>	83

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Correa trapezoidal de Perfil normal o clásico.-----	4
2. Correas trapezoidales de perfil estrecho o de alto rendimiento. -----	4
3. Diámetro primitivo de la polea trapezoidal. -----	5
4. Factor de carga C2 para motor eléctrico-----	6
5. Longitud primitiva de la correa trapezoidal -----	7
6. Factor de corrección de la longitud(Fcl).-----	7
7. Factor de corrección del arco de contacto.-----	9
8. La prestación base o potencia base. -----	9
9. Fuerza de deflexión recomendada por los fabricantes. -----	12
10. Fuerza recomendad por los fabricantes. -----	13
11. Severidad de vibraciones para máquinas menores a 15 HP. -----	18
12. valores equivalentes de rendimiento para motores WEG-22. -----	21
13. Valores equivalentes de factor de potencia para motores WEG-22. -----	22
14. Lista de requerimientos.-----	24
15. Características de la base del módulo. -----	25
16. Características del motor eléctrico WEG-22 de ½ HP-----	26
17. Características del alternador.-----	26
18. Características de la polea mayor. -----	27
19. Tensión de la correa trapezoidal de alto rendimiento y perfil clásico. -----	41
20. Parámetros de los mínimos cuadrados -----	41
21. Deslizamiento y eficiencia de transmisión con correas de alto rendimiento. ----	45
22. Deslizamiento y eficiencia de transmisión con correas de perfil clásico. -----	46
23. Calidad energética del laboratorio de diagnóstico técnico. -----	46
24. Calidad enérgica con las correas de alto rendimiento SPA-23.-----	48
25. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de alto rendimiento. -----	48
26. Calidad enérgica con las correas de perfil clásico A-23.-----	50
27. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico. -----	50
28. Datos de vibraciones en correas de alto rendimiento SPA-23.-----	54
29. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico. -----	55
30. Datos de vibraciones en correas de perfil clásico.-----	57

31.	Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico.	57
32.	Tensión de la correa con el método de la flecha constante.....	59
33.	Deslizamiento con el método de la flecha constante.	60
34.	Calidad energética con el método de la flecha constante.	60
35.	Datos de vibraciones con el método de la flecha constante.	61
36.	Tensión del ramal en el sistema de transmisión.	63
37.	Tensión de la correa con el método de la frecuencia de vibraciones.....	63
38.	Deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones.	64
39.	Calidad energética en el método de la frecuencia de vibraciones	64
40.	análisis vibracional con el método de la frecuencia vibraciones	65
41.	Análisis de resultado con el método de la flecha constante	75
42.	Análisis de resultado con el método de la frecuencia de vibraciones.	77
43.	Tensado óptimo con las correas de alto rendimiento SPA-23.....	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Correa trapezoidal-----	3
2. Parámetros de correa trapezoidal -----	4
3. Esquema del ángulo de contacto -----	8
4. Esquema del tensado de la flecha constante-----	11
5. Parámetros de vibración.-----	14
6. Diagrama de amplitud. -----	15
7. Niveles de vibración.-----	16
8. Vibración simple. -----	16
9. Vibración compuesta.-----	17
10. Espectro de vibraciones. -----	17
11. Puntos de ubicación de los sensores. -----	19
12. Espectro característico de la banda.-----	19
13. Curva de rendimiento para motores WEG -22. -----	22
14. Principales elementos del módulo. -----	23
15. Modelación de la base del módulo -----	24
16. Deformación de la placa de tensión. -----	25
17. Montaje del motor eléctrico -----	31
18. Montaje del alternador.-----	32
19. Montaje de la báscula digital. -----	32
20. Montaje de las poleas y la correa trapezoidal.-----	33
21. Circuito de mando y potencia del motor eléctrico.-----	33
22. Circuito de potencia del alternador.-----	34
23. Ángulos (φ) de la tensión.-----	35
24. Representación gráfica del ángulo β . -----	36
25. Diagrama de cuerpo libre del sistema de transmisión. -----	37
26. Diagrama de distancias perpendiculares a las fuerzas. -----	39
27. Esquema del sistema de transmisión. -----	43
28. Deslizamiento del sistema de transmisión. -----	44
29. Adquisición de datos de calidad energética. -----	47
30. Recolección de datos de vibraciones -----	52

31.	Frecuencia fundamental de la banda natural (FFB.N). -----	53
32.	Espectro de velocidad en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23.-	54
33.	Espectro de velocidad en correas trapezoidales de perfil clásico.-----	56
34.	Frecuencia natural para correas de alto rendimiento SPA-23. -----	62
35.	Frecuencia natural para correas de perfil clásico A-23. -----	62
36.	Variación de la tensión del sistema -----	66
37.	Resultado de deslizamiento en correas de alto rendimiento SPA-23. -----	67
38.	Resultado de deslizamiento en correas trapezoidales de perfil clásico A-23.--	68
39.	Resultados de vibraciones en correas de alto rendimiento SPA-23. -----	69
40.	Espectro de velocidad con una tensión insuficiente a 5 N. -----	70
41.	Espectro de velocidad con una tensión excesiva a 50 N. -----	70
42.	Resultado de vibraciones con correas de perfil clásico A-23.-----	71
43.	Espectro de velocidad con una tensión insuficiente a 5 N. -----	72
44.	Espectro de velocidad con una tensión excesiva a 50 N. -----	72
45.	Resultado de la potencia activa en correas de alto rendimiento SPA-23. -----	73
46.	Resultado de la potencia activa en correas de perfil clásico A-23. -----	74
47.	Calidad energética con el método de la flecha constante -----	75
48.	Calidad energética con el método de la frecuencia de vibraciones -----	77
49.	Correa trapezoidal de alto rendimiento Vs correa de perfil clásico. -----	78
50.	vibraciones en correas de alto rendimiento vs correas de perfil clásico. -----	78
51.	Calidad energética en correas de alto rendimiento vs correas de perfil clásico	79
52.	Espectro de velocidad con un tensado ideal. -----	80
53.	Deslizamiento método de flecha constante vs frecuencia de vibraciones. -----	81
54.	Calidad energética método de flecha constante vs frecuencia de vibraciones.	81

LISTA DE ANEXOS

- A. Guía de operación del banco de pruebas.
- B. Checklist del banco de pruebas
- C. Guía de practica 1.
- D. Guía de practica 2.
- E. Guía de practica 3.
- F. Guía de practica 4.
- G. Amef del motor eléctrico.
- H. Amef de la correa trapezoidal.
- I. Amef del alternador.
- J. Evaluación del amef del motor eléctrico.
- K. Evaluación del amef de la correa trapezoidal.
- L. Evaluación del amef del alternador.
- M. Plan de mantenimiento del banco de pruebas.

LISTA DE ABREVIATURA

RPM	Revoluciones por minuto
CPM	Ciclos por minuto
MCU	Movimiento circular uniforme
ISO	Organización Internacional De Normalización
INEN	Instituto Ecuatoriano De Normalización
RMS	Nivel de vibración global (valor eficaz)
FFB.N	Frecuencia fundamental de la banda natural
FFB	Frecuencia fundamental de la banda calculada
Dz	Deslizamiento en correas trapezoidales
EFIC.TRAS	Eficiencia de trasmisión

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

La escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH, es una de las carreteras que en los últimos años ha tenido un crecimiento y posee de un gran prestigio a nivel nacional, por la formación de profesionales competitivos y de calidad.

En la actualidad en el sector industrial y agrícola los elementos flexibles son las más utilizadas para transmitir potencia mecánica, debido al bajo costo y/o donde las ruedas dentadas no pueden ser utilizadas.

En la actualidad existen métodos para el tensado de las correas trapezoidales, como el método de la flecha constante y el método de la frecuencia de vibraciones, estas técnicas son empíricas, ya que solo se basan en que tenga una deflexión recomendada por el fabricante, más no se analizan los factores de vibración, deslizamiento y eficiencia energética. (SKF, 2016)

1.2 Justificación.

Con el avance tecnológico en la actualidad es posible en la industria realizar un control a los activos físicos, poder vigilar progresivamente estos elementos y anticiparnos al fallo funcional, con la misma reduciremos el impacto directo e indirecto que ocasiona a la empresa.

En la actualidad en el área de mantenimiento predictivo existen varias técnicas y equipos calificados para anticiparnos al fallo funcional, como la técnica de diagnóstico de vibraciones, la misma que ayuda a determinar la falla potencial.

En el laboratorio de diagnóstico técnico de la escuela de ingeniería de mantenimiento, existe equipos como: Vibracheck 200 ABG, cámara termográfica, fototacómetro, tacómetro estroboscópico y analizador de la calidad de la energía, la misma que garantiza

el aprendizaje del estudiante. Pero el laboratorio no cuenta con un banco de pruebas para el estudio del tensado de las correas trapezoidales.

Mediante este proyecto se plantea construir un banco de pruebas, para el estudio del deslizamiento, diagnóstico vibracional y el análisis de la calidad de energía para determinar el tensado óptimo en los sistemas de transmisión en las correas trapezoidales.

1.3 Objetivos.

1.3.1 *Objetivo general.* Construir un módulo de pruebas para el estudio del tensado óptimo de las correas trapezoidales mediante análisis vibracional y energético para la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar un banco de pruebas para el estudio del tensado óptimo de las correas trapezoidales.

Seleccionar los componentes, modelación y montaje del banco de pruebas.

Determinar la tensión y el deslizamiento del sistema de transmisión.

Analizar el deslizamiento, la vibración y la calidad de energía en función de la tensión en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas de perfil clásico A-23.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Generalidades de elementos mecánicos flexibles.

Los elementos flexibles como bandas, cables y cadenas son las más utilizadas en las industrias para transmitir potencia mecánica, donde el uso de los engranes se vuelve impráctico si la distancia entre centros es significativa, la transmisión por correa ofrece flexibilidad al operar con eficiencia. Tienen la característica de absorber las cargas de choque y amortiguar los efectos de la vibración. (SHIGLEY, 2008)

2.2 Tipo de correas.

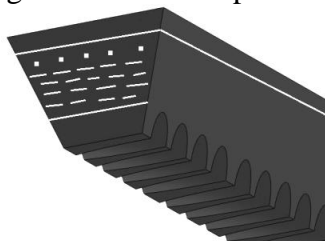
Las correas se dividen en 4 grupos principales:

- Correas planas.
- Correas trapezoidales o de sección en “V”.
- Correas redondas.
- Coreas reguladores o de sincronización.

2.3 Correas trapezoidales.

Las correas trapezoidales o en “V”, tiene una sección de forma de trapecio isósceles, son las más utilizadas para transmitir potencia mecánica. Las secciones rectas de las correas trapezoidales han sido normalizadas en la ISO 4184, como se detallan en las tablas 1 y 2.

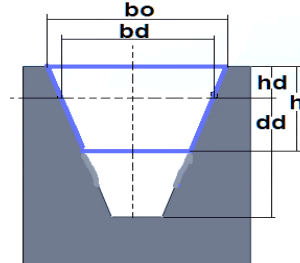
Figura 1. Correa trapezoidal



Fuente: Autor

2.3.1 *Tipos de correas trapezoidales.* La norma ISO 4184 especifica las longitudes de las correas trapezoidales y las clasifican en dos grandes grupos, donde los parámetros de las correas de perfil clásico y alto rendimiento se ilustran en la figura 2. (ISO 4184, 1992)

Figura 2. Parámetros de correa trapezoidal



Fuente: Autor

2.3.1.1 *Perfil normal o clásico (ISO 4184).* Los parámetros técnicos de la correa trapezoidal de perfil normal o también denominadas de perfil clásico, expresadas en milímetros, se puntualizan en la tabla 1. (ISO 4184, 1992)

Tabla 1. Correa trapezoidal de Perfil normal o clásico.

PERFIL		Y	Z	A	B	C	D	E
Ancho superior de la banda	bo	6	10	13	17	22	32	40
Ancho de referencia	bd	5,3	8,5	11	14	19	27	32
Altura de la correa	h	4	6	8	11	14	10	25
Distancia	hd	1,6	2,5	3,3	4,2	5,7	8,1	12
Diámetro de la polea mínima	dd	28	50	71	112	180	355	500
Peso por metro	kg/m	0,026	0,064	0,109	0,19	0,324	0,69	0,958

Fuente: ISO 4184

2.3.1.2 *Perfil estrecho o de alto rendimiento (ISO 4184).* Las características técnicas de las correas trapezoidales de perfil estrecho o denominadas de alto rendimiento, expresada en milímetros se detallan en la tabla 2. (ISO 4184, 1992)

Tabla 2. Correas trapezoidales de perfil estrecho o de alto rendimiento.

PERFIL		SPZ	SPA	SPB	SPC
Ancho superior de la banda	bo	9,7	12,7	16,3	22
Ancho de referencia	bd	8,5	11	14	19
Altura de la correa	h	8	10	13	18
Distancia	hd	2	2,8	3,5	4,8
Diámetro de la polea mínima	dd	63	90	140	224
Peso por metro	(kg/m)	0,074	0,123	0,195	0,337

Fuente: ISO 4184

2.4 Selección de las correas trapezoidales.

Una correcta selección de la correa trapezoidal, es uno de los factores que garantiza el buen funcionamiento del sistema de transmisión. Para la selección de la correa se realizarán los siguientes cálculos. (MYSZKA, 2012)

2.4.1 *Relación de transmisión (K)*. La relación de transmisión K está determinada por la ecuación 1. Se recomienda que la relación de transmisión este entre 1 a 6.

$$K = \frac{RPM\ 2}{RPM\ 1} = \frac{D}{d} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde,

RPM 1 = Velocidad angular de la polea mayor

RPM 2 = Velocidad angular de la polea menor

2.4.2 *Selección del diámetro primitivo de la polea*. Por lo general se tiene como dato el diámetro de una de las poleas, el diámetro primitivo de la polea mayor (D), es el producto del diámetro menor (d) por la relación de transmisión, representada matemáticamente en la ecuación 2.

$$D = d \times K \quad \text{Ecuación (2)}$$

La selección del diámetro primitivo de la polea, se realiza con los valores establecidos en la tabla 3.

Tabla 3. Diámetro primitivo de la polea trapezoidal.

Poleas acanaladas trapezoidales según DIM 211		
Diámetro de referencia	Nº canales	Peso (Kg)
112	1	1,1
118	1	1,3
125	1	1,5
132	1	1,8

Fuente: (Manual técnico para trasmisiones por correas trapezoidales, 2016)

2.4.3 *Potencia corregida (Pc).* Las maquinas tienen diferentes contextos operacionales de funcionamiento, donde el factor de carga (C2) toma en cuenta estos aspectos. Donde P es la potencia mecánica o denominada potencia de salida nominal.

$$P_c = P \times C_2 \quad \text{Ecuación (3)}$$

El factor de carga C2 para los motores eléctrico depende de los parámetros estipulados en la tabla 4.

Tabla 4. Factor de carga C2 para motor eléctrico

Ejemplo de máquinas accionadas	Los motores ca y trifásicos con momentos de arranque normal (de hasta 1.8 veces el momento nominal).			Los motores ca y trifásicos con momentos de arranque normal (de hasta 1.8 veces el momento nominal) por ejemplo motores monofásico		
	Factor e carga c2			Factor e carga c2		
	Para servicio diario (horas)			Para servicio diario (horas)		
	Hast a 10 h	Más de 10 hasta 16	Mayor de 16	Hasta 10 h	Más de 10 hasta 16	Mayor de 16
Trasmisión ligera hasta 7.5 kw.	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Trasmisiones medias más de 7.5 kw.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Trasmisiones pesadas molinos compresores de pistón.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Trasmisiones muy pesada molinos de cargas pesadas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Fuente: (Higuera Ozaeta Flórez, 2013)

2.4.4 *Límites de distancia entre centros(C).* La distancia entre centro no debe exceder los límites planteados en la ecuación 4, para el óptimo rendimiento del sistema de trasmisión.

$$3(D + d) \geq C \geq D \quad \text{Ecuación (4)}$$

2.4.5 *Longitud primitiva de la correa (L)*. Las correas se comercializan en función de su longitud. Donde L es la longitud exterior de la correa y esta expresada matemáticamente por la ecuación 5.

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Mediante la tabla 5 se determina la longitud primitiva de la correa trapezoidal, más próxima a la calculada con la ecuación 5.

Tabla 5. Longitud primitiva de la correa trapezoidal

Selección de la correa trapezoidal		
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)
21	558	566
22	584	592
23	609	618
24	635	641
25	660	670
26	685	694

Fuente: (Manual técnico para trasmisiones por correas trapezoidales, 2016)

2.4.6 *Factor de corrección de la longitud (Fcl)*. El valor de factor de corrección, depende de la longitud primitiva de la correa y del perfil, se obtiene mediante la tabla 6.

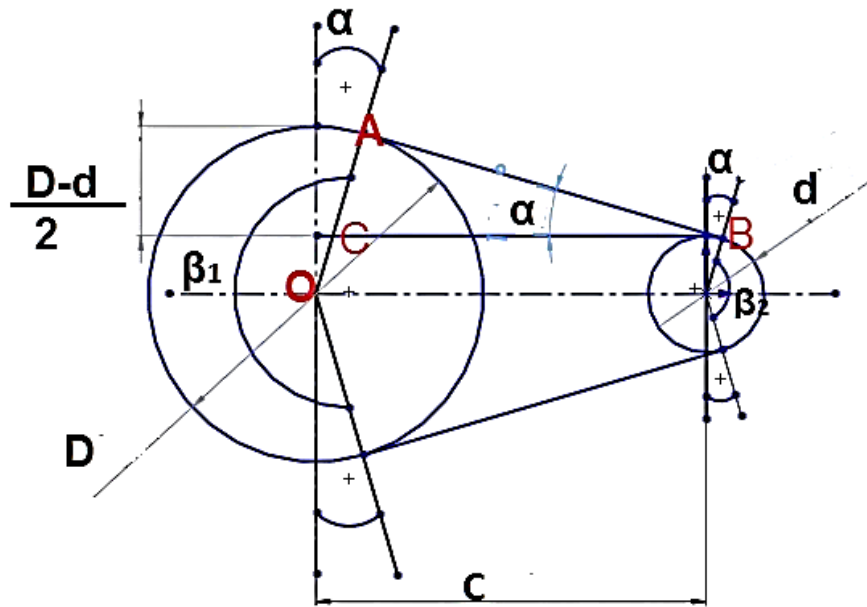
Tabla 6. Factor de corrección de la longitud (Fcl).

Factor de correlación de la longitud			
Longitud d la correa	Z	A	B
16	0,8		
24	0,83		
26	0,84	0,81	
31	0,89	0,84	
35	0,92	0,87	0,81

Fuente: (DUNLOP ARGENTINA S.A., 2012)

2.4.7 *Parámetros del ángulo de contacto*. El ángulo de contacto alpha depende de la distancia entre centros y de los diámetros de la polea, como se detalla en la figura 3.

Figura 3. Esquema del ángulo de contacto



Fuente: autor

2.4.7.1 *Cálculo del ángulo de tangencia (α)*. Mediante las funciones trigonométricas se determina el ángulo alpha (α), la misma que se relaciona en la ecuación 6.

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \left(\frac{D-d}{2C} \right) \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.4.7.2 *Arco de contacto (β)*. Es el contacto de la correa trapezoidal sobre cada polea como, se observa en la figura 3, el arco de contacto mayor se expresa matemáticamente en la ecuación 7 y el arco de contacto menor se expresa en la ecuación 8, las mismas que estas expresadas en grados.

$$\beta_1 = 180^\circ + 2\alpha \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\beta_2 = 180^\circ - 2\alpha \quad \text{Ecuación (8)}$$

2.4.7.3 *Factor de corrección del arco de contacto ($F_c\beta_2$)*. La corrección del arco de contacto (β) se obtiene mediante la tabla 7, para el cálculo del factor de corrección del arco de contacto, es necesario el parámetro del ángulo de contacto menor β_2 , calculada en la ecuación 8.

Tabla 7. Factor de corrección del arco de contacto.

Factor de corrección del arco de contacto.		
Arco de contacto sobre la polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanaladas planas
167°	0,97	0,78
164°	0,96	0,79
160°	0,95	0,8
157°	0,94	0,81
154°	0,93	0,81
150°	0,92	0,82

Fuente: (DUNLOP ARGENTINA S.A., 2012)

2.4.8 *Velocidad de la correa (V)*. La velocidad lineal del sistema de transmisión, esta expresada matemáticamente en la ecuación 9 y sus unidades es $\frac{m}{s}$.

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot RPM}{60} \quad [m/s] \quad \text{Ecuación (9)}$$

$V_{max} = [25 \text{ a } 30] \frac{m}{s}$. Para correas de perfil clásico.

$V_{max} = [35 \text{ a } 45] \frac{m}{s}$. Para correas trapezoidales de perfil estrecho.

2.4.9 *Prestación base o potencia base (Pbk)*. Para el cálculo de potencia base (Pb) es necesario la velocidad angular RPM2 y para el cálculo de la prestación adicional, se determina con la relación de transmisión K, donde los parámetros se detalla en la tabla 8.

$$PbK = Pb + \text{prestación adicional por la relación de transmisión} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Tabla 8. La prestación base o potencia base.

RPM de la polea menor	Prestación base (HP)			Prestación adicional por relación de transmisión (HP)		
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)			1,02 AL	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)	1,02 AL
	1,4	1,4	1,4	71		71
	66	71	66	66	66	71
2600	0,81	1,11	0,81	1,11	0,81	1,11
2800	0,83	1,14	0,83	1,14	0,83	1,14
3000	0,84	1,17	0,84	1,17	0,84	1,17
3200	0,85	1,19	0,85	1,19	0,85	1,19

Fuente: (DUNLOP ARGENTINA S.A., 2012)

2.4.10 *Potencia efectiva (Pe)*. La potencia efectiva es el resultado del producto de la prestación base por factor de corrección de la longitud y por el factor de corrección del arco de contacto del diámetro menor, la misma está relacionada en la ecuación 11.

$$Pe = PbK * PcL * Fc\beta_2 \quad \text{Ecuación (11)}$$

La potencia efectiva esta expresado en unidades de [HP]

2.4.11 *Cantidad de correa*. Mediante la relación de la potencia nominal del motor con la potencia efectiva, se determina la cantidad de correas necesarias para el sistema de transmisión, la misma se representa en la ecuación 12.

$$\text{cantidad de correa} = \frac{P}{Pe} \quad \text{Ecuación (12)}$$

2.5 **Tensado de las correas.**

Un tensado óptimo de las correas trapezoidales es uno de los requisitos, para una duración máxima del elemento y para una transmisión eficiente.

La falta de temple permite que la correa se deslice en exceso y disminuye la eficiencia general de la transmisión, la misma que generará exceso de temperatura y falla prematura de la correa. (Metso, 2011)

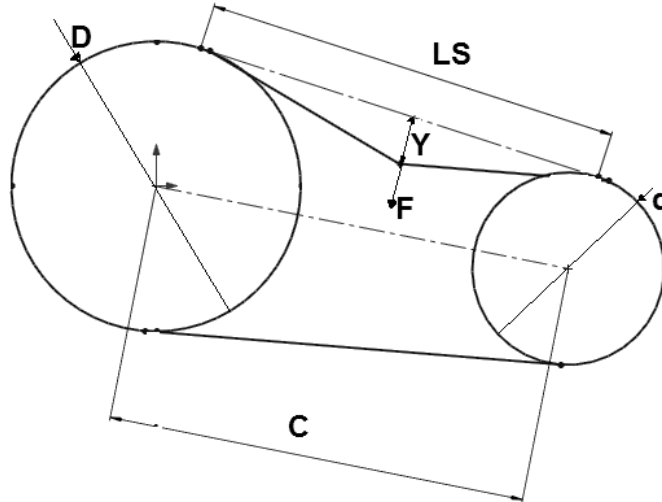
Si la tensión es demasiada alta, la mayor carga contribuirá a la fatiga de la correa y del rodamiento, provocando la falla prematura de ambos componentes, además el consumo energético se incrementará significativamente. (SKF, 2016)

2.6 **Tipos de tensados de correas trapezoidales.**

En la industria los métodos de la flecha constante y método de la frecuencia de vibraciones son las más utilizadas para el tensado de las correas trapezoidales.

2.6.1 *Método de la flecha constante*. Consiste en provoca una deflexión de la correa trapezoidal como se puede observar en la figura 4. Donde se aplica una fuerza perpendicular medible en el centro de un ramal mediante un dinamómetro.

Figura 4. Esquema del tensado de la flecha constante



Fuente: Autor

2.6.2 *Cálculo del tensado mediante el método la flecha constante.* Para determinar el tensado del sistema de trasmisión se deben aplicar los siguientes cálculos.

2.6.2.1 *Tramo libre (\$L_s\$).* Es la distancia del punto de tangencia de la polea mayo al punto de tangencia de la polea menor como se observa en la figura 4, matemáticamente esta expresado en la ecuación 13.

$$L_s = C \left[1 - 0,125 \frac{(D-d)^2}{C} \right] \quad \text{Ecuación (13)}$$

2.6.2.2 *Deflexión (\$Y\$).* La deflexión de la correa trapezoidal recomendada por los fabricantes, cumplen dos condiciones establecidas en la ecuación 14. (INTERMEC .S.A., 2013)

$$y = \begin{cases} 0,02 * L_s & \text{Si } L_s < 500\text{mm} \\ 0,01 * L_s & \text{Si } L_s > 500\text{mm} \end{cases} \quad \text{Ecuación (14)}$$

2.6.2.3 *Fuerza de deflexión.* La fuerza de deflexión se determina en el centro del tramo libre (\$L_s/2\$), aplique una fuerza perpendicular medible necesaria para desviar la correa según los cálculos analizados en la ecuación 13 y 14. Una vez obtenida el valor de la fuerza \$F\$, mediante un instrumento confiable, compare con los valores en la tabla 9. Si los

valores de la fuerza aplicadas están por debajo de la tensión especifica en la tabla 9, el sistema de trasmisión tiene poca tensión. A su vez, si la tensión aplicada está por arriba de los valores especificados en la tabla 9, el sistema de trasmisión se encuentra sobre tensionada. (INTERMEC .S.A., 2013)

Tabla 9. Fuerza de deflexión recomendada por los fabricantes.

Perfil	Diámetro de la polea pequeña mm	Fuerza de deflexión	
		Correas nuevas (kgf)	Correas trabajadas (kgf)
A	75 – 90	1,5	1
	91 - 120	1,9	1,3
	121 o mas	1,3	1,5
B	85 - 105	1,8	1,2
	106 - 140	2,7	1,8
	141 o mas	3,2	2,4
C	175 - 230	5,1	3,4
	231 o mas	7,2	4,8
D	305 - 400	11,2	7,5
	201 o mas	15	10
E	505 - 610	21,8	14,5

Fuente: (INTERMEC .S.A., 2013)

2.6.3 *Método de la frecuencia de vibraciones.* Para la aplicación de este método el sistema de trasmisión debe permanecer en estado estático. El método de la frecuencia de vibraciones consiste en golpear el tramo de la correa con el dedo índice para provocar su vibración natural. Para el cálculo de la tensión en Newton siga los siguientes pasos.

2.6.3.1 *Cálculo del tramo libre (ls).* El cálculo del tramo libre en el método de la frecuencia de vibraciones se determina con la ecuación 15.

$$ls = \sqrt{c^2 - \frac{(D-d)^2}{4}} \quad \text{Ecuación (15)}$$

2.6.3.2 *La tensión del ramal (T_{ramal}).* La tensión depende de tres parámetros, de su masa (m), del tramo libre (Ls) y de la frecuencia natural (f) de la correa trapezoidal, la expresión está relacionada en la ecuación 16. (OPTIBELT, 2015)

$$T_{ramal} = 4 * m * ls^2 * f^2 \quad [N] \quad \text{Ecuación (16)}$$

Dónde,

m = Masa de la correa en [Kg/m], observe las Tabla 1 y Tabla 2.

f = Frecuencia natural medido [Hz].

El T_{ramal} compare con las características técnicas de diseño especificadas por los fabricantes, obsérvese la tabla 10.

Tabla 10. Fuerza recomendada por los fabricantes.

Sección de la correa	Diámetro de la polea menor	Fuerza recomendada	
		Min	Max
Z	60 - 67	6	8
	71 - 80	7	9
	85 - 100	8	11
A	60 - 80	6	12
	85 - 90	9	13
	95 - 106	10	15
SPZ	56 - 67	7	10
	67 - 71	8	11
	75 - 80	9	13
SPA	80 - 95	6	16
	100 - 125	14	21
	132 - 200	19	28

Fuente: (GATES POWER TRANSMISSION, 2009)

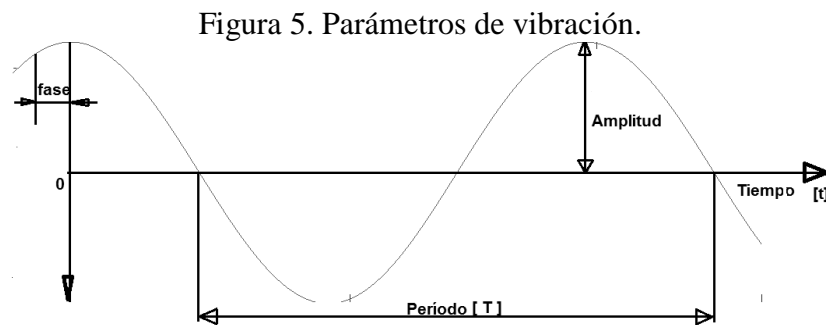
2.7 Vibración.

Mediante la norma ISO 2041 define a la vibración, como un movimiento oscilatorio, con respecto a un punto de referencia, donde las oscilaciones pueden ser periódicas o aleatorias.

2.7.1 *Parámetro de vibraciones.* Los parámetros principales de la vibración son la frecuencia angular, periodo, frecuencia, ciclo y la amplitud, las misma se detallan en la figura 5.

2.7.1.1 *Frecuencia angular (ω).* Se define como el producto de 2π por la frecuencia, su valor depende de la rapidez con que vibra un objeto, esta expresado en (rad/seg).

$$\omega = 2\pi * f \quad \text{Ecuación (17)}$$



Fuente: Autor

2.7.1.2 *Periodo (T).* Es el tiempo empleado en recorrer una vuelta completa, está en unidades de tiempo [s], la misma se representa matemáticamente en la ecuación 18. (Zambrano Vallejo, 2015)

$$T = \frac{2\pi \text{ rad}}{\omega} \quad \text{Ecuación (18)}$$

2.7.1.3 *Frecuencia (f).* La norma ISO 2041 define a la frecuencia, como el recíproco del periodo fundamental, se expresa en [Hz], que corresponde un ciclo por cada segundo.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación (19)}$$

2.7.1.4 *Ciclo.* Es el movimiento completo que realiza el sistema oscilante y que se repite cada período. (MARTIN, 2007)

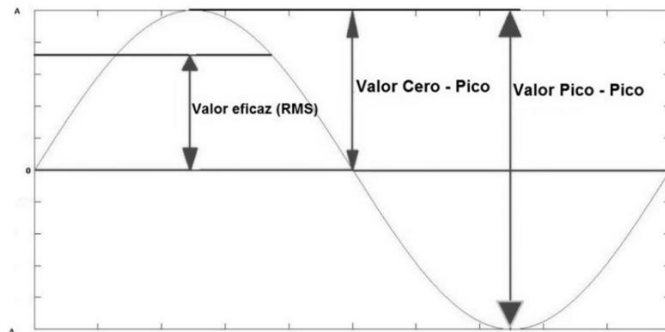
2.7.1.5 *Amplitud.* Es la distancia máxima de la onda desde el punto de equilibrio. (WHITE, 2010).

2.7.2 *Medidas de amplitud de vibraciones.* Existe tres tipos para medir la amplitud, como se detalla a continuación (observe la figura 6).

- *Valor pico.* Valor máximo del punto de referencia a la cresta (0-A).
- *Valor pico-pico.* Distancia de la cresta negativa a la cresta positiva (A-A).
- *Valor eficaz (RMS).* Valor promedio de la onda y esta expresado matemáticamente en la ecuación 20.

$$V_{RMS} = 0.707 V_{equivalente} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Figura 6. Diagrama de amplitud.



Fuente: Autor

2.7.3 *Descripción de los niveles de vibración.* La vibración puede ser observada en unidades de tiempo o de frecuencia. Al efectuar las mediciones de los niveles de vibración es necesario definir que magnitud física se desea cuantificar, la vibración se describe en desplazamiento, velocidad o aceleración, observé la figura 7.

2.7.3.1 *Desplazamiento (D).* La norma ISO 2041 define como la cantidad vectorial que describe el cambio de posición de un cuerpo o partícula con respecto a un sistema de referencia y esta expresado matemáticamente en la ecuación 21. (ISO 2041, 2009)

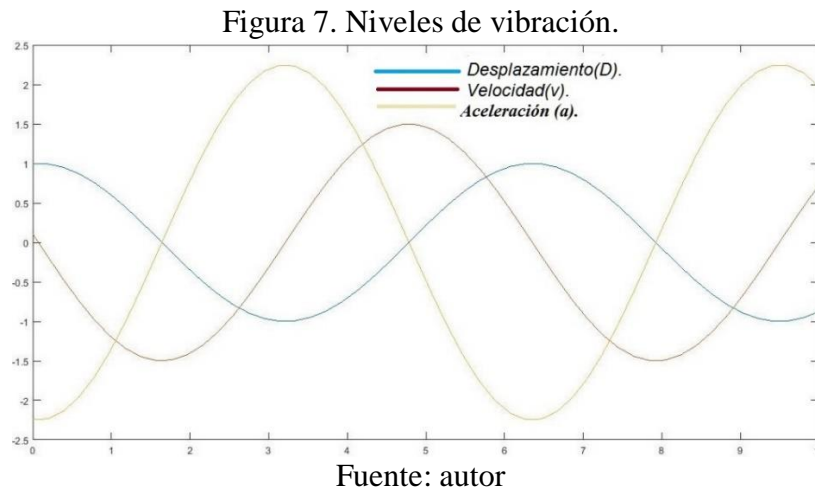
$$D = A * \text{sen}(\omega * t) \quad \text{Ecuación (21)}$$

2.7.3.2 *Velocidad (V).* Se define como la derivada del desplazamiento en el tiempo, matemáticamente se expresa en la ecuación 22.

$$v = A * \omega * \text{cos}(\omega * t) \quad \text{Ecuación (22)}$$

2.7.3.3 *Aceleración (a)*. Se define como la primera derivad de la velocidad, matemáticamente se expresa en la ecuación 23.

$$a = -A * \omega^2 * \text{sen}(\omega * t) \quad \text{Ecuación (23)}$$

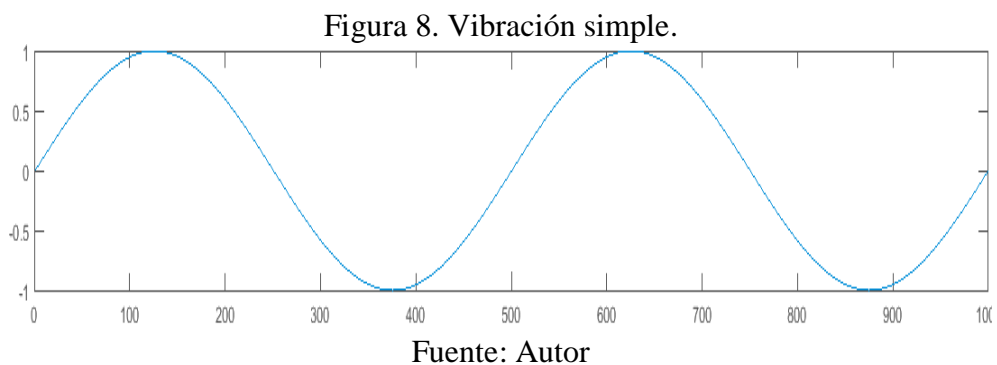


2.7.4 *Unidades de vibración*. La norma ISO 1000 representa las unidades de vibración del desplazamiento, velocidad y aceleración. (ISO 1000, 1998)

- *Desplazamiento*. Se expresa en unidades de m, mm y μm
- *Velocidad*. Se expresa en unidades de m/s y mm/s
- *Aceleración*. Se expresa en unidades de $\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}\right)$ o en gravedades ($g = 9.809 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

2.8 Vibración simple.

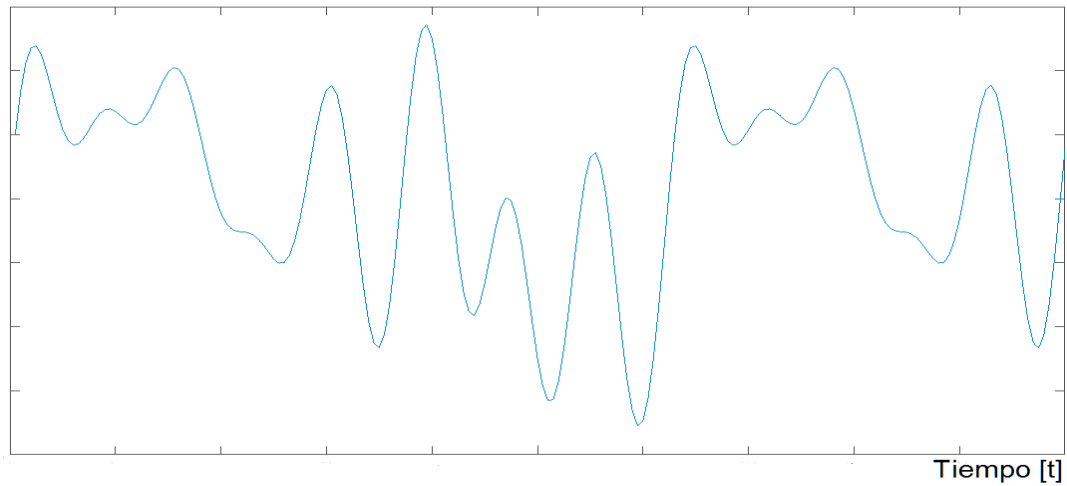
Las vibraciones simples son la representación de las oscilaciones puras, donde el periodo oscilatorio es constante, como se observa en la figura 8.



2.9 Vibración compuesta.

La vibración compuesta es el resultado de la unión de dos o más vibraciones simples, como se ilustra en la figura 9.

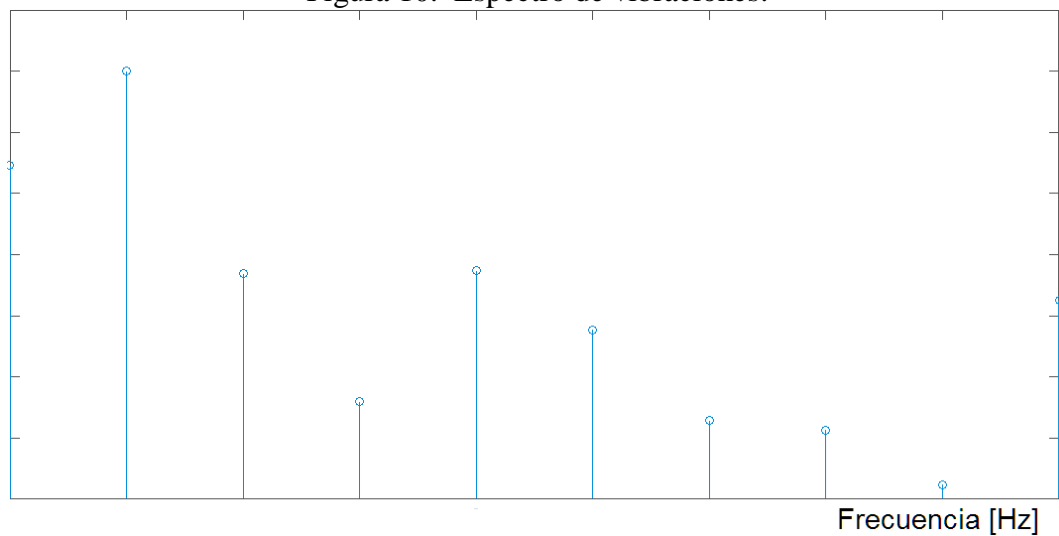
Figura 9. Vibración compuesta.



Fuente: Autor

2.9.1 *Espectro de vibración.* La gráfica de amplitud vs frecuencia, que fue descubierta por el Francés Jean Baptiste Fourier, donde se descompone una señal compleja en sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específica donde se facilita la interpretación, a esto se le ha denominado espectro de vibraciones la misma se detalla en la figura 10.

Figura 10. Espectro de vibraciones.



Fuente: Autor

2.9.2 *Frecuencia natural (Fn)*. Es un movimiento que se va repitiendo en un periodo de tiempo, es decir depende de las características estructurales de la máquina, tales como la masa, rigidez, amortiguamiento o estructura. no depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad. (A-MAQ, 2005)

2.10 Normativas de vibración.

2.10.1 *Norma ISO 10816-1*. La norma es aplicable en maquinarias rotativas que tengan una velocidad de giro entre 600 y 12.000 RPM.

ISO 10816-1 requiere de datos globales de vibración en velocidad – valor eficaz RMS en un rango de frecuencia entre 10 y 1.000 Hz, distinguiendo en varias clases de máquinas rotativas. (ISO-10816-1, 1995)

2.10.2 *Severidad de vibraciones*. La evaluación de la severidad de los equipos se realiza mediante la ISO 10816-1, determina valores aceptables de vibración en máquinas rotativas, los valores de severidad se detallan en la tabla 11.

Tabla 11. Severidad de vibraciones para máquinas menores a 15 HP.

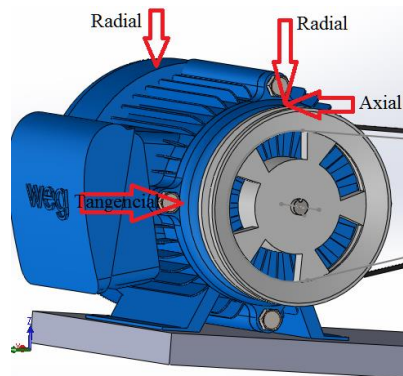
velocidad (mm/s, RMS)	Severidad
0,18 a 0,28	A
0,28 a 0,45	
0,45 a 0,71	
0,71 a 1,12	B
1,12 a 1,8	
1,8 a 2,8	C
2,8 a 4,5	
4,5 a 7,1	D
7,1 a 11,2	
11,2 a 18	
18 a a28	
A	Buena
B	Satisfactoria
C	Insatisfactoria
D	Inaceptable

Fuente: ISO-10816-1

2.11 Punto de ubicación de los sensores de vibraciones.

Para determinar el problema en un activo físico, es muy útil obtener los datos de vibraciones, donde los puntos de ubicación de los sensores de vibración según la norma ISO 10816-1, se realizan en tres direcciones axial, radial y tangencial. Axial es la dirección paralela al eje, radial es la dirección desde el sensor hacia el centro del eje y tangencial está ubicado a 90° con respecto al radial como podemos observar en la figura 11.

Figura 11. Puntos de ubicación de los sensores.

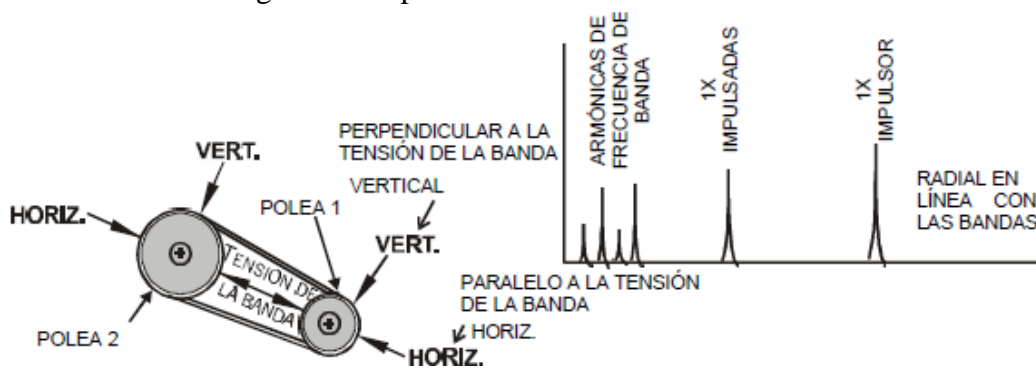


Fuente: Autor

2.12 Diagnóstico de bandas.

Para el diagnóstico del sistema de transmisión por bandas se utiliza las cartas de Charlotte, donde los armónicos característicos están representada en la figura 12.

Figura 12. Espectro característico de la banda.



Fuente. Cartas De Charlotte

Las frecuencias de las bandas se encuentran debajo de las RPM del motor o de la máquina impulsada. Cuando están desgastadas, flojas o mal colocadas, por lo regular causan de 3

a 4 múltiplos de frecuencias de bandas. A menudo la frecuencia de banda 2X es el pico dominante. Por lo regular, las amplitudes son inestables, algunas veces emiten pulsaciones por cercanía con frecuencias del motor y del equipo conducido. (TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, 2016)

2.12.1 *Frecuencia fundamental de la banda calculada (FFB)*. Las bandas desgastadas o estiradas generalmente las andas en V, general vibraciones a la frecuencia fundamental de paso de banda y sus armónicas. La FFB está expresado en la ecuación 24, siempre está por debajo del 1X

$$FFB = \frac{3,142 * polea\ RPM * Diam.paso}{longitud\ de\ la\ bada} \quad \text{Ecuación (24)}$$

2.13 Calidad energética en los motores eléctricos.

La calidad energética en los motores eléctricos permite lograr el uso eficiente de la energía eléctrica, donde los factores principales son la selección correcta de la potencia del motor y mejorar la calidad de energía eléctrica.

2.14 Carga de un motor eléctrico.

Para la selección adecuada de un motor eléctrico, se considera la carga ya que define la velocidad y la potencia del motor. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. (NTE INEN 2498, 2009)

2.14.1 *Eficiencia del motor eléctrico (η)*. La eficiencia se define como la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada de un motor. se expresa en % y se calcula con la ecuación 25. (NTE INEN 2498, 2009)

$$\eta = \frac{Ps}{Pe_{nominal}} * 100 \quad \text{Ecuación (25)}$$

2.14.2 *Potencia de entrada nominal ($Pe_{nominal}$)*. Es la potencia eléctrica que el motor toma de la línea, donde la potencia del motor eléctrico trifásico de corriente alterna se representa por la ecuación 26. (NTE INEN 2498, 2009)

$$P_{e_{nominal}} = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi) \quad \text{Ecuación (26)}$$

2.14.3 *Potencia de salida nominal (Ps)*. Es la potencia mecánica o también denominada potencia de salida, disponible en el eje del motor eléctrico y está representada por la ecuación 27. (NTE INEN 2498, 2009)

$$P_s = \frac{T * N}{9549} \text{ Kw} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde,

T= Par torsión en el eje del motor eléctrico [N.m].

N= velocidad angular del motor eléctrico [RPM].

2.14.4 *Carga de un motor eléctrico (carga)*. La mayoría de los motores eléctricos están diseñadas, para funcionar a cargas entre 50% y 100 % de su potencia nominal, se recomienda que la potencia nominal este sobredimensionada en 5% a 15% de su potencia nominal, si la potencia está sobredimensionada por encima del 25% de la potencia de operación, el factor de potencia disminuirá y esta relaciona en la ecuación 28.

$$Carga = \frac{P_{e_{medido}}}{P_{e_{nominal}}} \quad \text{Ecuación (28)}$$

La empresa WEG establece valores equivalentes de rendimiento para los motores eléctricos trifásicos de ½ HP de potencia, donde el 75% del rendimiento de un motor equivale a un rendimiento de 50%, el rendimiento calculado es de 78.20% equivale a un rendimiento del 100% del motor eléctrico, observe la tabla 12.

Tabla 12. valores equivalentes de rendimiento para motores WEG-22.

Rendimiento (%)		
50%	75%	100%
75.00%	77.50%	78.20%

Fuente: Catálogos WEG (WEG-22, 2016)

La empresa WEG establece valores equivalentes de factor de potencia para los motores eléctricos trifásicos de ½ HP, donde un factor de potencia medido es 0.49 equivale a 50%

y un factor de potencia medido es 0.72 equivale a un factor de potencia del 100%, como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13. Valores equivalentes de factor de potencia para motores WEG-22.

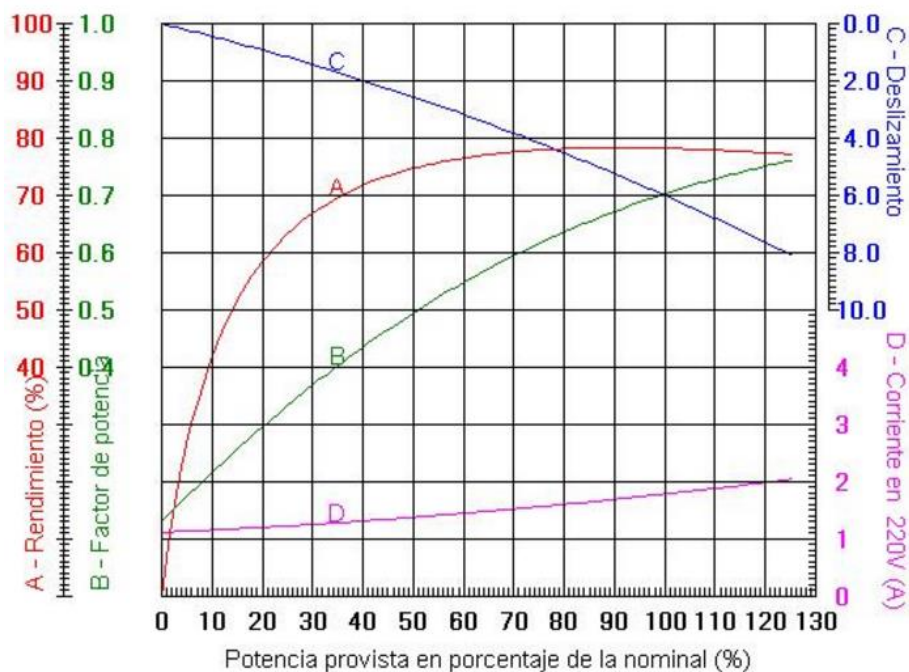
Factor de Potencia		
50%	75%	100%
0.49	0,62	0,72

Fuente: Catalogo WEG (WEG-22, 2016)

2.14.5 *Desbalance de voltaje.* Los motores eléctricos están diseñados para operar con características específicas de la placa. Asimismo, deben ser alimentadas con una tensión trifásica simétrica. Sin embargo, en la industria existe tensiones desequilibradas. Las tensiones desequilibradas incrementan las perdidas y disminuye la vida útil del motor eléctrico.

2.14.6 *Curva de rendimiento de los motores eléctricos WEG-22.* La figura 13 representa las curvas características de rendimiento del motor eléctrico WEG-22 de ½ HP de potencia mecánica.

Figura 13. Curva de rendimiento para motores WEG -22.



Fuente: Selección de motores (WEG-22, 2016)

CAPÍTULO III

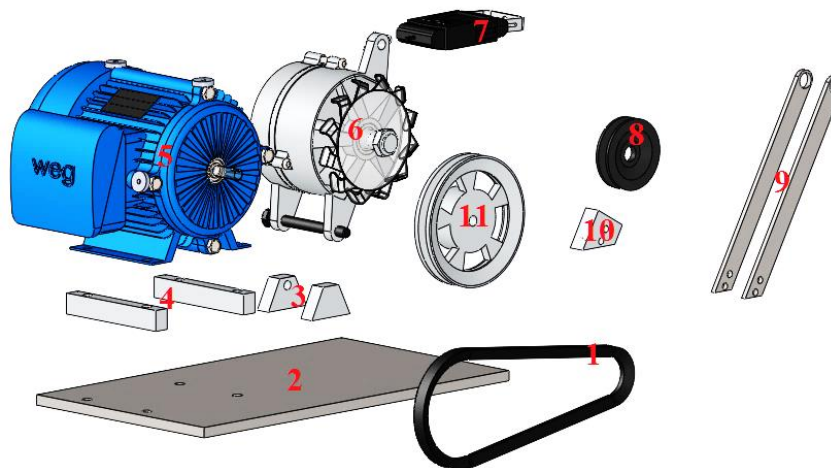
3. MODELACIÓN, SELECCIÓN DE ELEMENTOS, MONTAJE Y PUESTA EN OPEACIÓN.

En este capítulo se detallarán la modelación de los elementos principales utilizados en la construcción del banco de pruebas, para ello se utiliza en el software SOLIDWORKS, así también, se realizará la selección de las poleas, la selección de la correa trapezoidal, el montaje de los componentes, el circuito de mando y de potencia del motor eléctrico y finalmente se realiza el circuito de mando del alternador.

3.1 Principales elementos del módulo.

La figura 14 se detalla gráficamente 11 componentes principales utilizados en la construcción del banco de pruebas, para el estudio del tensado óptimo de las correas trapezoidales.

Figura 14. Principales elementos del módulo.



Fuente Autor

Los once elementos de la figura 14 se detallan en la tabla 14, donde se puntualiza la cantidad y la descripción de cada elemento, utilizados en la construcción del banco de pruebas.

Tabla 14. Lista de requerimientos.

N°	Cantidad	Descripción
1	1	Correa trapezoidal
2	1	Placa base
3	2	Base del alternador
4	2	Base del motor eléctrico
5	1	Motor eléctrico
6	1	alternador
7	1	Bascula digital
8	1	Polea menor
9	2	Placas de tensión
10	1	Base de las placas de tensión
11	1	Polea mayor

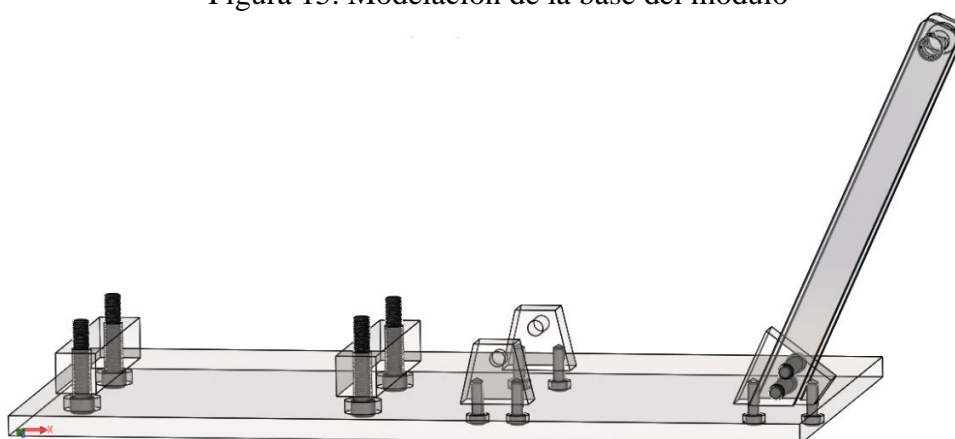
Fuente: Autor

3.2 Modelación de los elementos.

La modelación y el estudio estático de los elementos mecánicos utilizados en la construcción del banco de pruebas, se realiza en el software SOLIDWORKS.

3.2.1 *Modelación de la base del módulo.* La base está constituida por 6 elementos principales como son, la placa base, base del motor eléctrico, la base del alternador, la base de la placa de tensión, la placa de tensión y los pernos Allen, las mismas están diseñada como se observa en la figura 15.

Figura 15. Modelación de la base del módulo



Fuente: autor

Las características de la base del módulo como, ancho, largo, espesor y el tipo de material de cada elemento se detallan en la tabla 15.

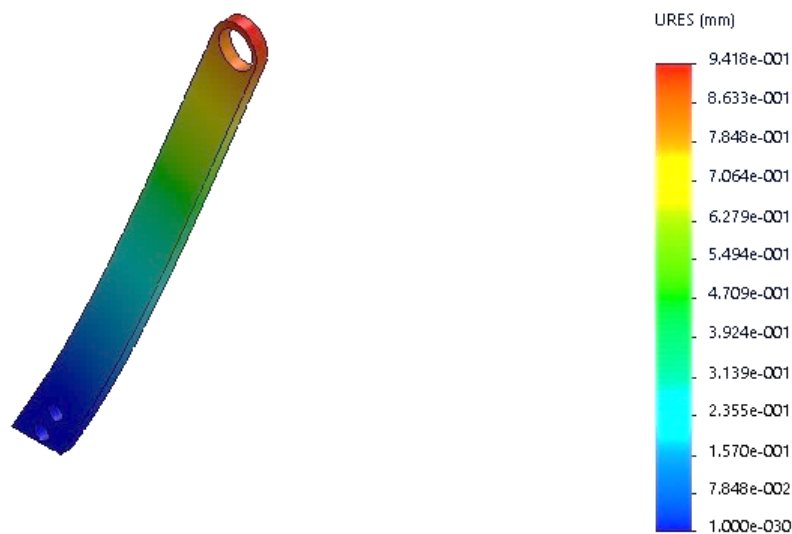
Tabla 15. Características de la base del módulo.

Cantidad	Elemento	Ancho cm	Largo cm	Espesor cm	Material
1	Placa base	22,5	39,5	1	AISI 1020
2	Base del motor eléctrico	2	12	2	Hierro fundido
2	Base del alternador	4	4	1,5	Hierro fundido
1	Base de las placas de tensión	4	4	1,5	Hierro fundido
2	Placas de tensión	2	20	0,50	AISI 1020

Fuente: Autor

3.2.1.1 *Simulación de la placa de tensión.* Para el estudio estático se aplica la fuerza máxima de 500 N ejercida por la báscula digital, donde el material de la placa de tensión está establecido en la tabla 15.

Figura 16. Deformación de la placa de tensión.



Fuente: Autor

El resultado del estudio estático de la placa de tensión, se obtiene un desplazamiento estático máximo de 0.9418mm, como se observa en la figura 16.

3.3 Selección de elementos del módulo de pruebas.

Para la selección de los elementos se toman en cuenta los parámetros de seguridad de los estudiantes y el contexto operacional. Para el cálculo se utiliza las ecuaciones analizadas

en el capítulo 2, en el caso de las poleas y la correa trapezoidal se utilizará catálogos de SKF.

3.3.1 *Selección del motor eléctrico.* Para la selección del motor eléctrico, se toma en cuenta la seguridad de los estudiantes como factor primordial, para la cual se utilizará un motor eléctrico asíncrono trifásico jaula de ardilla de 0.5 HP de potencia, la misma que tiene la mínima potencia existente en el mercado, donde las características técnicas del motor eléctrico Weg 22 se detallan en la tabla 16.

Tabla 16 Características del motor eléctrico Weg-22 de ½ HP

Modelo	TE 1BFOX01
Velocidad angular	1680 RPM
Frecuencia	60Hz
Voltaje nominal	220 / 380 V C.A.
Corriente nominal	1,87/1,08 A
Corriente de arranque	8.60/4.98 A
Temperatura	20 - 40 °C
Polos	4
Par nominal	2.10 N.m
Rendimiento	78,2%
Nivel de ruido	47 dB(A)
Momento de inercia	0,00066 kgm ²

Fuente: Datos de placa

3.3.2 *Selección del alternador.* El alternador es un generador de corriente continua y es el más idóneo para simular carga en el sistema de transmisión, cuyas características técnicas se detallan en la tabla17.

Tabla 17 Características del alternador.

Modelo	23100-U0100
Marca	Yokobo
Velocidad angular	3000 RPM
Intensidad	35 amperios
Voltaje	12 voltios
Diámetro de polea	7cm
Tipo de polea	1V

Fuente: Autor

3.4 Selección de polea mayor.

3.4.1 *Polea mayor.* Para la selección de la polea mayor se utiliza las ecuaciones analizadas en el capítulo 2.

3.4.1.1 *Relación de transmisión.* Cálculo de la relación de transmisión con la ecuación (1), donde la velocidad angular del motor eléctrico es de 1680 y la velocidad angular del alternador es de 3000 RPM.

$$K = \frac{RPM\ 2}{RPM\ 1}$$

$$K = \frac{3000\ RPM}{1680\ RPM}$$

$$K = 1,79$$

3.4.1.2 *Diámetro primitivo de la polea mayor.* EL diámetro primitivo de la polea menor es 7 cm, como se detalla en la tabla 17, para el cálculo del diámetro primitivo de la polea mayor aplicamos la ecuación (2).

$$D = d * K$$

$$D = 7\text{cm} \times 1.79$$

$$D = 12,5\text{ cm}$$

3.4.1.3 *Características de la polea mayor.* Mediante el catálogo establecida en la tabla 3 seleccionamos el diámetro más aproximado al calculado, donde las características se detallan en la tabla 18.

Tabla 18 Características de la polea mayor.

Marca	Ecuapolea
Diámetro	5 pulgadas
Número de canales	Un canal trapezoidal
Material	Aluminio

Fuente: Datos de placa de la polea trapezoidal

3.5 Selección de la correa.

Para la selección de la correa trapezoidal se utilizarán las ecuaciones establecidas en el capítulo 2.

3.5.1 *Potencia corregida.* Para el cálculo de la potencia corregida utilizamos la ecuación (3). donde el factor de corrección es de 1,1, ya que el motor trabaja menos de 10 horas y que se encuentra por debajo de 7,5 kw, como se detalla en la tabla 4.

$$P_c = 0,37Kw * 1.1$$

$$P_c = P * C_2$$

$$P_c = 0,407 KW$$

$$P_c = 0,55 Hp$$

3.5.2 *Límite de distancia entre centros(C).* La distancia entre centros (C) se calcula con la ecuación 4 y se encuentra en el rango de 12,5 cm a 58,5 cm, como se detalla a continuación.

$$3(12,5cm + 7cm) \geq C \geq 12,5cm$$

$$58,5 cm \geq C \geq 12,5cm$$

3.5.3 *Longitud primitiva de la correa (L).* Se determina la longitud de la correa trapezoidal mediante la ecuación (5), donde la distancia entre centros del sistema de transmisión es de 153mm.

$$L = 2 * 153mm + 1,57(125mm + 70mm) + \frac{(125mm - 70mm)^2}{4 * 153mm}$$

$$L = 617 mm$$

La longitud primitiva de la correa es de 617mm, mediante la tabla 5, se determina la correa trapezoidal de sección clásica más aproximada a la calculada, donde corresponde a la correa A-23.

3.5.4 *Factor de corrección de la longitud (Fcl).* El punto de intersección entre la longitud de la correa trapezoidal de 23 pulgadas y la sección clásica A equivale al factor de corrección de la longitud de 0,83, como se detalla en la tabla 6.

$$FCL = 0,83$$

3.5.5 *Cálculo del ángulo de contacto (α).* El ángulo de contacto se calcula con la ecuación 6.

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{D - d}{2C}\right)$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{125\text{mm} - 70\text{mm}}{2 * 153\text{mm}}\right)$$

$$\alpha = 10,35^\circ$$

3.5.5.1 *Arco de contacto mayor (β_1).* Con la ecuación 7 se determina el arco de contacto de la polea mayor es de 200.7 grados.

$$\beta_1 = 180^\circ + 2(10,35^\circ)$$

$$\beta_1 = 200,7^\circ$$

3.5.5.2 *Arco de contacto menor (β_2).* Con la ecuación 8 obtenemos el arco de contacto de la polea menor es de 159.3 grados.

$$\beta_2 = 180^\circ - 2(10,35^\circ)$$

$$\beta_2 = 159,3^\circ$$

3.5.5.3 *Factor de corrección del arco de contacto*($F_{c\beta 2}$). Con el ángulo de contacto de la polea menor acanalada es de 159,3 grados y mediante la tabla 7 determinamos el factor de corrección ($F_{c\beta 2}$), donde el arco de contacto más próximo al calculado es de 160 grados y el factor de corrección equivale a 0.95.

$$F_{c\beta 2} = 0,95$$

3.5.6 *Velocidad de la correa* (V). La velocidad lineal en la polea menor, se calcula mediante la ecuación 9.

$$V_2 = \frac{\pi * d * RPM}{60} \quad [m/s]$$

$$V_2 = \frac{\pi * 70mm * 3000RPM}{60000}$$

$$V_2 = 10,99 \text{ m/s}$$

3.5.7 *Prestación base* (P_{bK}). Donde relación de transmisión es de 1.79, la velocidad angular de la polea menor es de 3000 RPM y el diámetro de la polea menor es 70 mm, con los parámetros establecidos se determina la potencia base (P_{bK}) mediante la ecuación 10. Donde el punto de intersección entre la velocidad angular y el diámetro de la polea menor es 1.17, así también el punto de intersección de la velocidad angular y la relación de transmisión es de 0.11, la misma se detalla en la tabla 8.

$$P_{bK} = 1,17 + 0,11$$

$$P_{bK} = 1,28 \text{ HP}$$

3.5.8 *Potencia efectiva por correa* (P_e). La potencia efectiva se calcula con la ecuación 11.

$$P_e = 1,28 * 0,83 * 0,95$$

$$P_e = 1,01 \text{ HP}$$

3.5.9 *Cantidad de correas en el sistema de transmisión.* La cantidad de correa para el sistema de transmisión se determina mediante la ecuación 12.

$$\text{cantidad de correa} = \frac{0,5 \text{ HP}}{1,01\text{HP}}$$

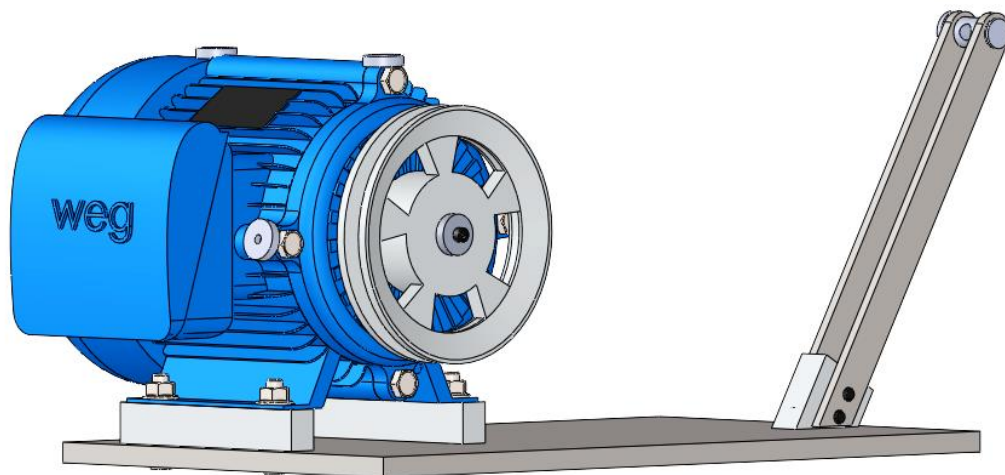
$$\text{cantidad de correa} = 0,5$$

La cantidad de correas es de 0,5, equivale a una correa en el sistema de transmisión. Para la transmisión se utiliza una correa trapezoidal de sección clásica A y de una longitud de 23 pulgadas, denominada en el mercado como correa trapezoidal de perfil clásico A-23.

3.6 Montaje del banco de pruebas.

3.6.1 *Montaje del motor eléctrico.* El motor eléctrico de ½ HP está sujeta con 4 tuercas Allen a la placa base como se detalla en la figura 17, conjuntamente esta acoplada la base del sensor de vibraciones y la polea mayor de 12,5 cm.

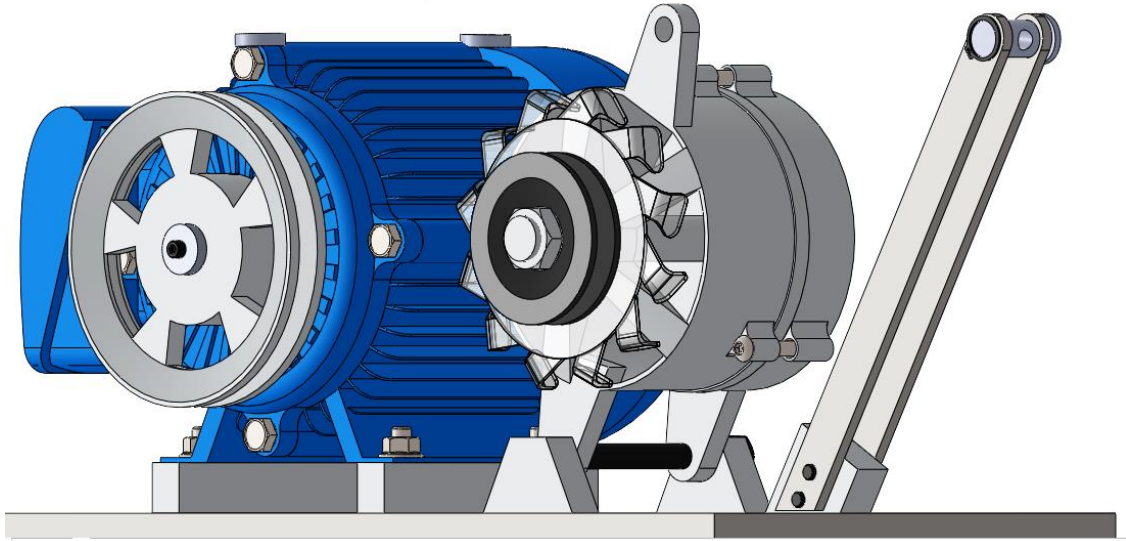
Figura 17. Montaje del motor eléctrico



Fuente Autor

3.6.2 *Montaje del alternador.* El alternador se ensambla sobre la base, a su vez está sujeta con un perno Allen hexagonal que permite el libre movimiento angular del alternador, conjuntamente esta acoplada la polea menor de 70 mm de diámetro, como se detalla en la figura 18.

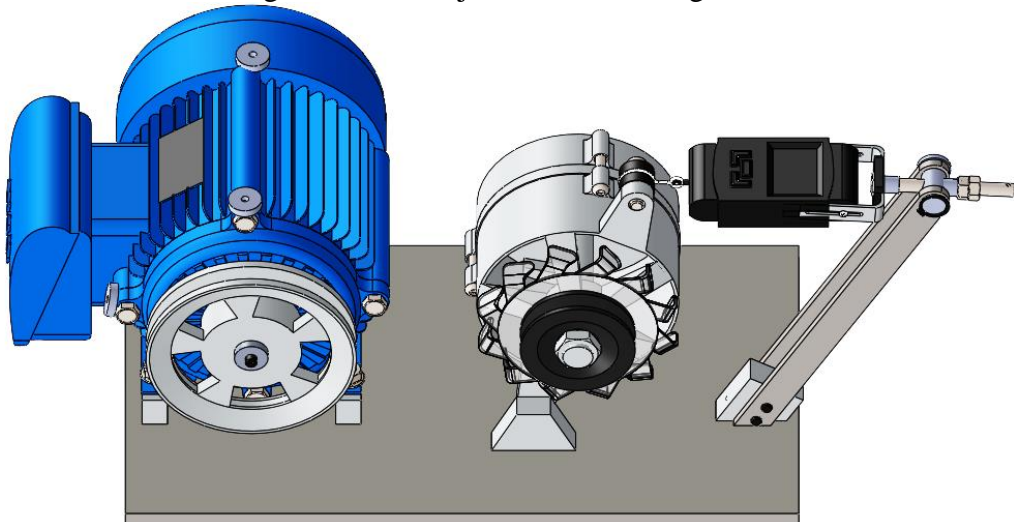
Figura 18. Montaje del alternador.



Fuente: Autor

3.6.3 *Montaje de la báscula digital.* La báscula está sujeta en el alternador por medio de un gancho y conjuntamente está sujeta a la placa de tensión por medio de un perno, como se observa en la figura 19.

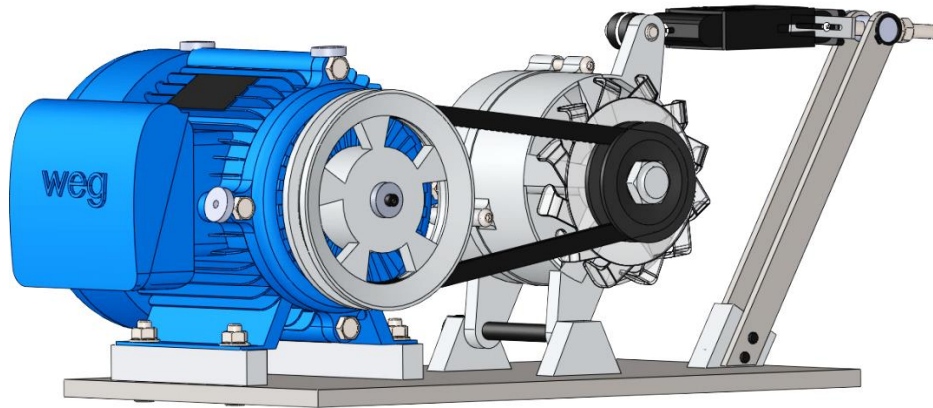
Figura 19. Montaje de la báscula digital.



Fuente: Autor

3.6.4 *Montaje de la correa trapezoidal.* El sistema de transmisión está diseñada y calculada para una correa trapezoidal de perfil clásico A-23. Para el montaje de la correa se debe aflojar la base del alternador para su libre movimiento angular como se detalla en la figura 20.

Figura 20. Montaje de las poleas y la correa trapezoidal.

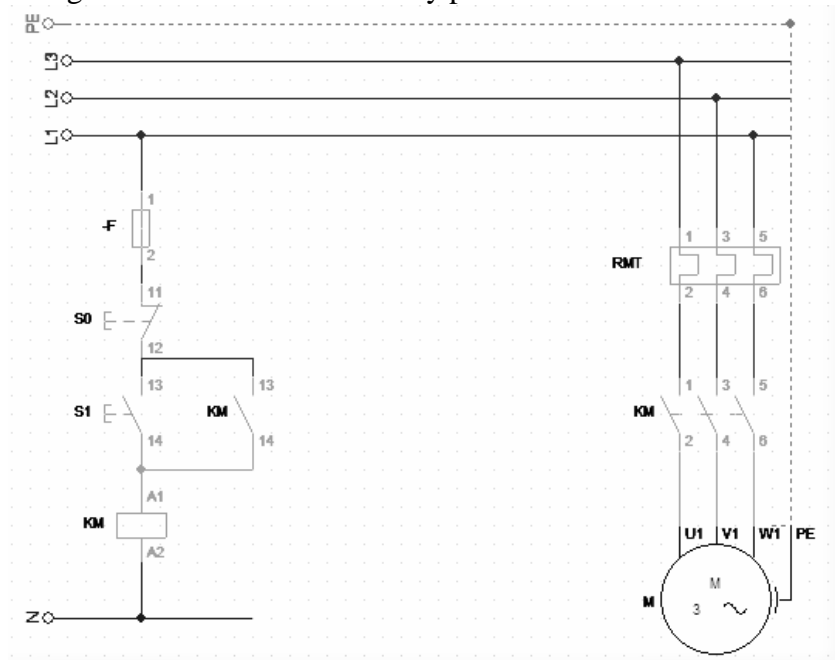


Fuente: autor

3.7 Circuito de mando y de potencia del motor eléctrico.

El circuito de mando y de potencia del módulo, tiene la conexión como se observa en la figura 21, la misma que tiene un fusible -F de protección, un pulsador S0 normalmente cerrado, un pulsador normalmente abierto S1, un contacto principal KM y un contacto Auxiliar y los elementos en el circuito de potencia, son un relé magnético térmico RMT, un contacto auxiliar y un motor eléctrico de ½ HP.

Figura 21. Circuito de mando y potencia del motor eléctrico.

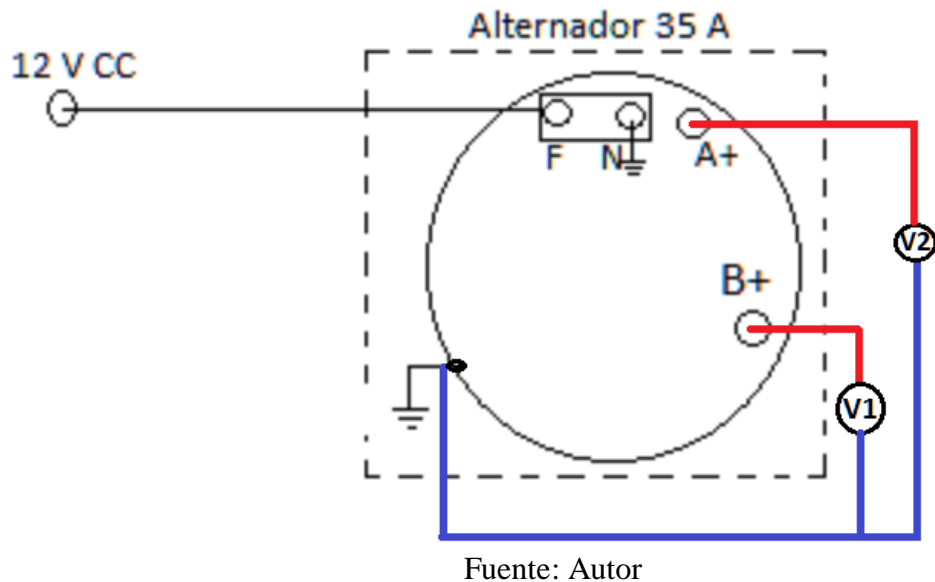


Fuente: autor

3.8 Circuito de mando y de potencia Del alternador.

El alternador es un generador de corriente directa ya que tiene incluida diodos rectificadores, para la generación de voltaje es necesario excitar al rotor del alternador en los bornes F y N con 7.5 voltios de corriente directa, como se observa en la figura 22, el voltaje en el voltímetro dos V2 es la mitad del voltímetro V1.

Figura 22. Circuito de potencia del alternador.



CAPÍTULO IV

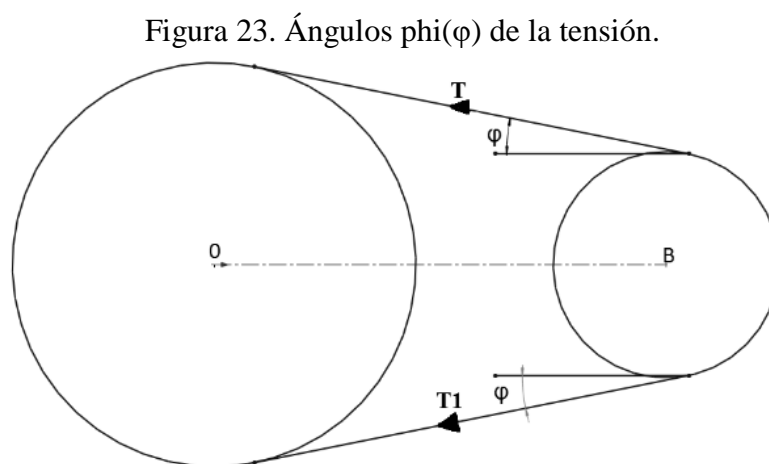
4. MEDICIONES, CÁLCULO DE LA TENSIÓN Y EL DESLIZAMIENTO.

En este capítulo se determinará la tensión por tres métodos, por el método de la flecha constata, por el método de frecuencia de vibraciones y por método del análisis estático y el cálculo del deslizamiento del sistema. La adquisición de datos de vibración y calidad energética del sistema, se utiliza el módulo didáctica figura 20, en la cual se realiza el tensado controlado del sistema de transmisión. Para las mediciones se utilizan los equipos, vibracheck 200 ABG para vibración, para la calidad de energía el analizador de la calidad de energía y se utiliza un tacómetro para determinar la velocidad angular en la polea mayor y en la polea menor del sistema.

4.1 Cálculo de la tensión mediante análisis estático.

Para el cálculo de la tensión se realizará un estudio estático del sistema de transmisión, se considera que el motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ HP es la parte fija del sistema y el alternador es la parte móvil como se observa en la figura 20.

4.1.1 *Cálculo de ángulo de la T y T1.* El ángulo entre el eje de las abscisas y la correa trapezoidal ϕ (φ) como se detalla en la gráfica 23, se calcula mediante la ecuación 6 analizada en el capítulo 2, donde la distancia OB es una cantidad variable y depende de la tensión que se le aplique al sistema de transmisión.



Fuente: Autor

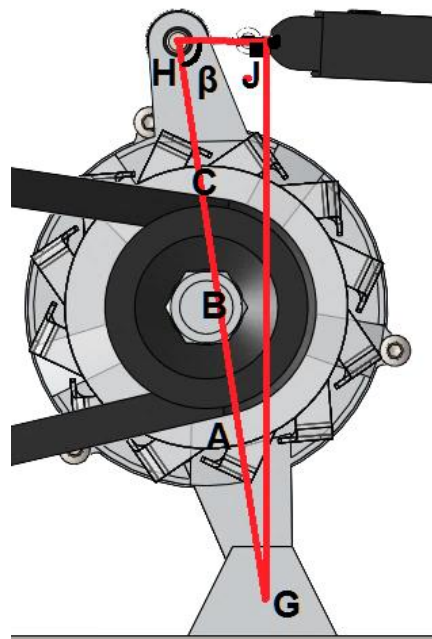
4.1.1.1 *Ángulos (φ)*. Para el cálculo del ángulo phi (φ) se aplicamos la ecuación 6 analizada en el capítulo 2.

$$\varphi = \text{sen}^{-1}\left(\frac{D - d}{2 * OB}\right)$$

$$\varphi = \text{sen}^{-1}\left(\frac{5,5 \text{ cm}}{2 * OB}\right)$$

4.1.1.2 *Cálculo del ángulo (β)*. Para el cálculo de ángulo beta (β) se forma un triángulo rectángulo (G, H y J) como se observa en la figura 24, donde la hipotenusa (GH) es igual a 18 y el cateto GJ es una variable que depende de la tensión de la correa trapezoidal.

Figura 24. Representación gráfica del ángulo β .



Fuente: autor

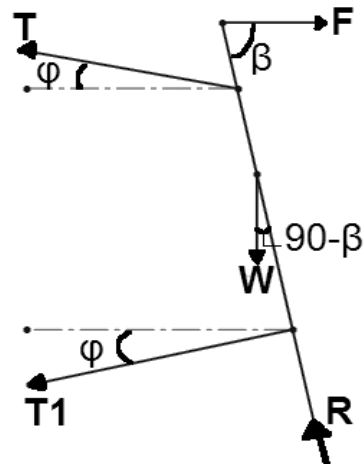
Aplicando las funciones trigonométricas en el triángulo rectángulo formado por los puntos (G, H y J), se determina el ángulo beta (β)

$$\beta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{GJ \text{ cm}}{18\text{cm}}\right) \quad \text{Ecuación (29)}$$

4.1.2 *Diagrama de cuerpo libre*. En el diagrama de cuerpo libre del sistema de transmisión se representan las 4 fuerzas, la fuerza F ejercida por la báscula digital, las

tensiones T Y T1 de la correa trapezoidal, la reacción (R) que ejerce en el punto de apoyo del alternador y la fuerza ejercida por el peso (W) del alternador como se detalla en la figura 25.

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre del sistema de transmisión.



Fuente: Autor

Dónde,

T y T1 = Tensiones de la correa trapezoidal [N]

F= Fuerza ejercida por la báscula digital [N]

R= Reacción en el punto de apoyo del alternador

4.1.3 *Componentes rectangulares de la T, T1 y R.* Las componentes rectangulares se aplican con el diagrama de equilibrio de la figura 25.

- Componentes rectangulares de la tensión T.

$$T_x = T * \cos(\varphi)$$

$$T_y = T * \sen(\varphi)$$

- Componentes rectangulares de la tensión T1.

$$T_{x1} = T1 * \cos(\varphi)$$

$$T_{y1} = T1 * \sen(\varphi)$$

- Componentes rectangulares de la reacción R.

$$R_x = R * \sen(90 - \beta) = R * \cos(\beta)$$

$$R_y = R * \cos(90 - \beta) = R * \sen(\beta)$$

4.1.4 *Sumatoria de fuerzas en el eje de las abscisas.* Para la sumatoria de las fuerzas, el sistema está en equilibrio, tomando como referencia el signo positivo al dado derecho.

$$\sum F_{x=0}$$

$$T * \cos(\varphi) + T1 * \cos(\varphi) + R * \cos(\beta) = F \quad \text{Ecuación (30)}$$

4.1.5 *Sumatoria de fuerzas en el eje ordenadas.* El sistema de transmisión está en equilibrio, entonces la sumatoria de la fuerza en las ordenadas es igual a cero.

$$\sum F_{y=0}$$

$$T * \sen(\varphi) - T1 * \sen(\varphi) + R * \sen(\beta) = w \quad \text{Ecuación (31)}$$

4.1.6 *Sumatoria de momento en punto O.* El sistema está en equilibrio, aplicando sumatoria de momento en el punto O. Para ello se calcula la distancia perpendicular del sistema de transmisión.

Las distancias del punto de apoyo del alternador a los puntos A, B, C y H representadas en la figura 24 son valores constantes. En la figura 26 se representa las distancias perpendiculares del sistema de transmisión.

d1= Distancia perpendicular entre el punto O y la componente Ty.

d2= Distancia perpendicular entre el punto O y el peso W.

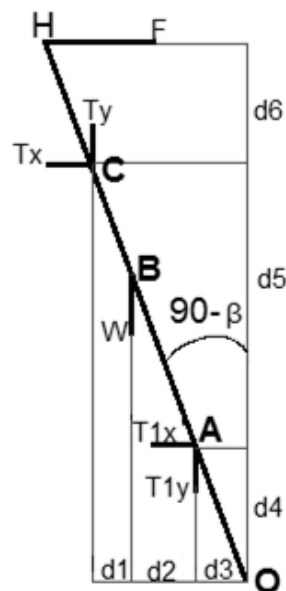
d3= Distancia perpendicular entre el punto O y la componente T1y.

d4= Distancia perpendicular entre el punto O y la componente T1x.

d5= Distancia perpendicular entre el punto O y la componente Tx.

d5= Distancia perpendicular entre el punto O y la fuerza F.

Figura 26. Diagrama de distancias perpendiculares a las fuerzas.



Fuente: Autor

4.1.6.1 *Cálculo de las distancias perpendiculares.* Aplicando trigonometría, se determina las distancias d1, d2, d3, d4, d5 y d6, las mismas están expresados en cm.

$$d1 = OC * \text{sen}(90 - \beta) = 12 * \cos(\beta)$$

$$d2 = OB * \text{sen}(90 - \beta) = 9 * \cos(\beta)$$

$$d3 = OA * \text{sen}(90 - \beta) = 6 * \cos(\beta)$$

$$d4 = OA * \cos(90 - \beta) = 6 * \text{sen}(\beta)$$

$$d5 = OC * \cos(90 - \beta) = 12 * \text{sen}(\beta)$$

$$d6 = OH * \cos(90 - \beta) = 18 * \text{sen}(\beta)$$

4.1.6.2 *Sumatoria de momento en el punto O.* Para el cálculo de la sumatorias de momento, en el punto de apoyo del alternador (O) se toma como referencia el sentido horario positivo.

$$+\widehat{\sum M}_O = 0$$

$$4T\text{sen}(\varphi - \beta) - 2T1\text{sen}(\varphi + \beta) = 3W\cos(\beta) - 6F\text{sen}(\beta) \quad \text{Ecuación (32)}$$

4.1.7 *Sistema de ecuación.* Realizando el análisis estático del sistema de transmisión, se obtiene un sistema de ecuación de tres incógnitas. Para el cálculo de la tensión del lado tenso T1, lado flojo T y la reacción R en la base del alternador, aplique las ecuaciones 33, 34 y 35.

$$T * \cos(\varphi) + T1 * \cos(\varphi) + R * \cos(\beta) = F \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$T * \text{sen}(\varphi) - T1 * \text{sen}(\varphi) + R * \text{sen}(\beta) = w \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$4T\text{sen}(\varphi - \beta) - 2T1\text{sen}(\varphi + \beta) = 3W\cos(\beta) - 6F\text{sen}(\beta) \quad \text{Ecuación (35)}$$

4.1.8 *Cálculo de la fuerza ejercida por el alternador (W).* La masa (m) del alternador es 3.24Kg, aplicando la segunda ley de newton determinamos el peso en newton [N].

$$W = m * g \quad \text{Ecuación (36)}$$

$$W = 3,24kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 31,78 N$$

4.1.9 *Cálculo de las tensiones (T y T1) del sistema de transmisión.* Para el cálculo de las tensiones del lado tenso T1, del lado flojo T y de la reacción R ejercida en la base del alternador, aplicando el sistema de ecuaciones 33,34 y 35 se obtiene los valores de la

tensión de la correa trapezoidal de perfil clásico A-23 y para las correas de alto rendimiento SPA-23, como se detalla en la tabla 19.

Tabla 19. Tensión de la correa trapezoidal de alto rendimiento y perfil clásico.

F	W	C	GJ	φ	β	T	T1	R
N	N	cm	cm	grados	grados	N	N	N
49,05	31,78	15,2	15,8	0,18	1,07	-33,59	56,76	54,83
98,1	31,78	15,23	15,9	0,18	1,08	-70,50	133,25	77,63
147,15	31,78	15,26	15,91	0,18	1,08	-107,28	209,11	100,46
196,2	31,78	15,29	15,92	0,18	1,09	-144,02	285,04	123,18
245,25	31,78	15,32	15,93	0,18	1,09	-180,71	361,02	145,79
294,3	31,78	15,35	15,94	0,18	1,09	-217,37	437,05	168,28
343,35	31,78	15,38	15,95	0,18	1,09	-253,97	513,14	190,66
392,4	31,78	15,41	15,96	0,18	1,09	-290,54	589,28	212,92
441,45	31,78	15,44	15,97	0,18	1,09	-327,07	665,48	235,07
490,5	31,78	15,47	15,98	0,18	1,09	-363,55	741,73	257,11

Fuente Autor

4.1.9.1 *Ecuación de la tensión T1 con el método de los mínimos cuadrados.* Para el cálculo de la ecuación de la tensión del lado flojo T y del lado tenso T1, aplicamos el método de los mínimos cuadrados, para la misma se utiliza los valores de la tabla 19.

Los parámetros principales del método de mínimos cuadrados son la sumatoria de la fuerza F de la báscula digital, la sumatoria de la tensión del lado tenso T1, el producto de la fuerza por la tensión T1 y la fuerza F elevada al cuadrado. Los parámetros se detallan en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros de los mínimos cuadrados

Parámetros de los mínimos cuadrados				
	F	T1	F*T1	F ²
Sumatoria	2697,7	3991,8	1384727,5	926272,4

Fuente: Autor

La pendiente de la recta, se calcula con la ecuación mencionada a continuación.

$$m = \frac{n * \sum(F * T1) - \sum F * \sum T1}{n * \sum F^2 - (\sum F)^2}$$

$$m = \frac{10 * 1384727,5 - 2697,75 * 3991,8}{10 * 926272,4 - 2697,7^2}$$

$$m = 1,55$$

El punto intersección con el eje de las ordenadas, se calcula con la siguiente ecuación.

$$b = \frac{\sum T1 - m * \sum F}{n}$$

$$b = \frac{3991,8 - 1,55 * 2697,7}{10}$$

$$b = -19,2 N$$

Ecuación empírica de la fuerza en función de la tensión T1. Tiene una pendiente de 1.55 y el punto de intersección con el eje de las ordenadas es de -19.2 N.

$$F = m * T1 - b$$

$$F = 1,55 * T1 N - 19,2 N$$

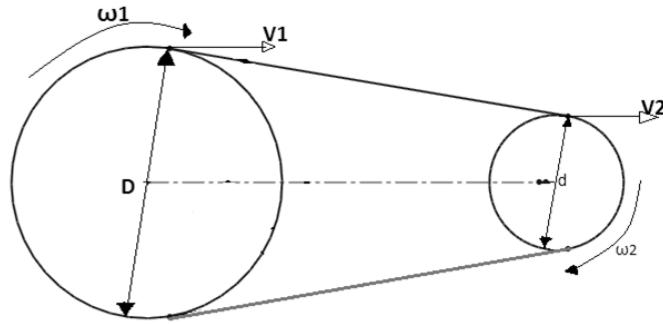
4.2 Deducción del deslizamiento del sistema de transmisión.

El deslizamiento es uno de los factores más importantes en los sistemas de transmisión, para el cálculo del deslizamiento se utilizarán ecuaciones del movimiento circular uniforme (MCU). El Fototacómetro y Tacómetro Estroboscópico permite determinar la velocidad angular de las dos poleas el sistema de transmisión.

4.2.1 *Deducción del deslizamiento (Dz) del sistema de transmisión.* El deslizamiento (Dz) es uno de los factores que depende de la tensión de la correa trapezoidal, donde los factores que intervienen en el cálculo, se detalla en la figura 27.

La velocidad lineal está definida en el estudio del movimiento circular uniforme (MCU) y esta expresado en la ecuación 37.

Figura 27. Esquema del sistema de transmisión.



Fuente: Autor

$$V = \text{RPM} * R \quad \text{Ecuación (37)}$$

La velocidad lineal de la polea mayor V1 y la velocidad lineal de la polea menor V2 del sistema de transmisión, esta expresado en las ecuaciones 38 y 39.

$$V_1 = \text{RPM } 1 * R_1 = \text{RPM } 1 * \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación (38)}$$

$$V_2 = \text{RPM } 2 * R_2 = \text{RPM}2 * \frac{d}{2} \quad \text{Ecuación (39)}$$

4.2.1.1 *Cálculo de la eficiencia del sistema de transmisión (efic.tras).* El sistema de transmisión es eficiente, si la velocidad lineal de la polea mayor V1 es igual a la velocidad lineal de la polea menor V2. Donde la eficiencia de transmisión está representada matemáticamente en la ecuación 40.

$$\text{efic. tras} = \frac{V_2}{V_1} * 100 \quad \text{Ecuación (40)}$$

Remplazando las velocidades lineales expresadas en la ecuación 38 y 39 respectivamente

$$\text{efic. tras} = \frac{d * \text{RPM}2}{D * \text{RPM}1} * 100$$

El diámetro de la polea mayor es de 125 mm y el diámetro de la polea menor es de 70 mm (observe las tablas 17 y 18).

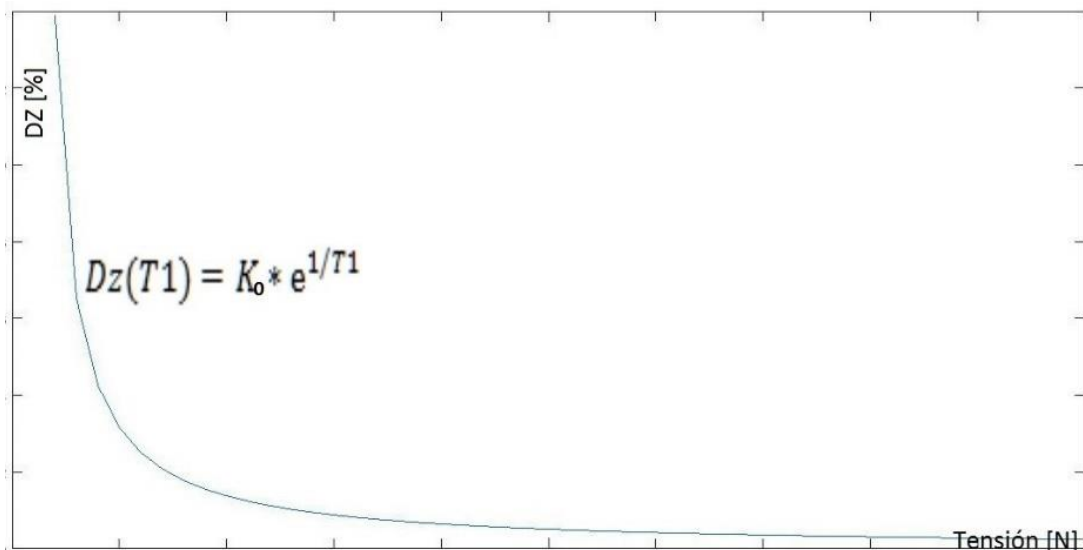
$$\text{efic. tras} = 0,56 * \frac{\text{RPM}2}{\text{RPM}1} * 100$$

El deslizamiento Dz en un sistema de trasmisión ocurre, cuando la velocidad lineal en la polea mayor no es igual a la velocidad lineal de la polea menor. Donde el deslizamiento depende directamente de la tensión del sistema de trasmisión, si la tensión tiende al infinito el deslizamiento tiende a cero, donde matemáticamente se representa en la relación siguiente.

$$\lim_{T1 \rightarrow \infty} Dz(T1) = 0$$

El deslizamiento del sistema de trasmisión en correas trapezoidales, se ajusta a una curva exponencial, como se puede observar en la figura 28.

Figura 28. Deslizamiento del sistema de trasmisión.



Fuente: Autor

El deslizamiento es cero si la velocidad lineal de la polea mayor es igual a la velocidad de la polea menor, caso contrario si la velocidad lineal en la polea mayor no es igual a la velocidad lineal de la polea menor el deslizamiento es diferente de cero. El deslizamiento del sistema de trasmisión, es el producto de la constante de deslizamiento por la exponencial como se representa en la ecuación 41. Donde dicha ecuación es empírica.

$$Dz = K_0 * e^{-1/T1} \quad \text{Ecuación (41)}$$

Donde la constante de deslizamiento (K_0) es el complemento de la eficiencia de transmisión, la misma se representada a continuación. Si el sistema de transmisión es eficiente, la constante de deslizamiento es igual a cero

$$K_0 = 1 - \text{efic. tras}$$

Remplazando la eficiencia de transmisión del sistema, se obtiene la siguiente expresión matemática

$$K_0 = 1 - \frac{d * \text{RPM2}}{D * \text{RPM1}} * 100$$

4.2.1.2 *Cálculo del deslizamiento (Dz).* El deslizamiento y la eficiencia de transmisión se calcula con correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23 y correas de perfil clásico A-23, a intervalos de 5 N ejercido por la báscula digital. Para el caso de las correas de alto rendimiento se detalla en la tabla 21.

Tabla 21. Deslizamiento y eficiencia de transmisión con correas de alto rendimiento.

Tensión del lado tenso	Velocidad angular 1	Velocidad angular 2	Deslizamiento	Eficiencia de transmisión.
T1	RPM 1	RPM 2	DZ	1-DZ
N	RPM	RPM	%	%
56,76	1758,00	3086,00	1,73%	98,30%
133,25	1753,00	3083,00	1,52%	98,49%
209,11	1749,00	3080,00	1,39%	98,62%
285,04	1745,00	3077,00	1,26%	98,75%
361,02	1741,00	3075,00	1,09%	98,91%
437,05	1737,00	3071,00	0,99%	99,01%
513,14	1735,00	3068,00	0,98%	99,02%
589,28	1731,00	3062,00	0,94%	99,06%
665,48	1727,00	3056,00	0,91%	99,09%
741,73	1723,00	3050,00	0,87%	99,13%

Fuente: Autor

En la tabla 22 se detalla el deslizamiento y la eficiencia de transmisión con una correa trapecoidal de perfil clásico A-23.

Tabla 22. Deslizamiento y eficiencia de transmisión con correas de perfil clásico.

T1	RPM 1	RPM 2	DZ	1-Dz
N	RPM	RPM	%	%
56,76	1750	3026	3,2%	97%
133,25	1745	3027	2,9%	97%
209,11	1740	3028	2,6%	97%
285,04	1735	3029	2,2%	98%
361,02	1730	3030	1,9%	98%
437,05	1726	3029	1,7%	98%
513,14	1718	3016	1,7%	98%
589,28	1710	3003	1,7%	98%
665,48	1702	2990	1,6%	98%
741,73	1694	2977	1,6%	98%

Fuente: Autor

4.3 Mediciones de la calidad de energía en el banco de pruebas.

Para las mediciones de la calidad energética del sistema de transmisión, se utiliza el equipo de Fluke 435 serie II y el software Power long, donde el estudio se centra en las correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23 y las correas de perfil clásico A-23.

4.3.1 *Calidad energética en el banco de prueba.* El modulo didáctico trabaja con un voltaje simétrico, donde el voltaje está desfasado 120 grados eléctricos una fase con respecto a otra y la frecuencia es de 60 Hz, como se observa en la tabla 23.

Tabla 23. Calidad energética del laboratorio de diagnóstico técnico.

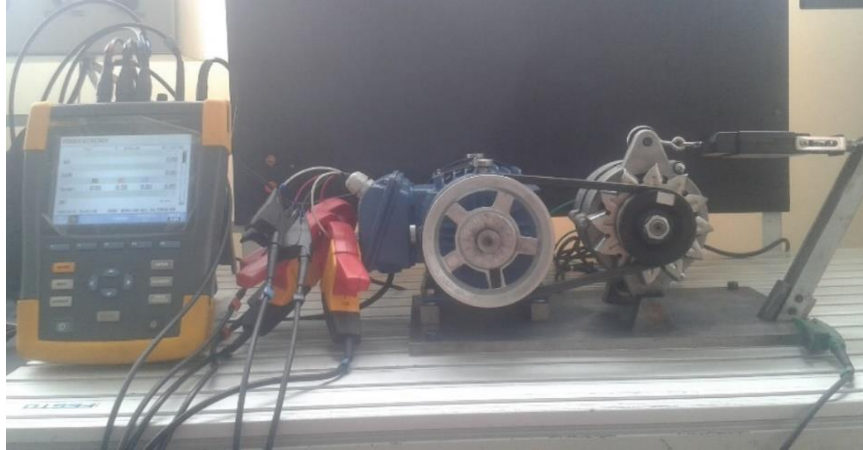
	R	S	T	Unidades
Voltaje de línea	122,4	122,9	122,3	V
Grados eléctricos	0	120	240	Grados
Intensidad	1,9	2	1,9	A
Grados eléctricos	52	172	293	
Frecuencia	60			Hz

Fuente: autor

Mediante Fluke 435 serie II se determina la calidad energética del sistema de transmisión, la toma de datos se realiza en las correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapecoidales de perfil clásico A-23. La metodología que se aplica para la toma de datos de la calidad de la energía en los sistemas de transmisión es a intervalos de 5

Newton ejercidas por la báscula digital. En la figura 29 se representa un esquema de la toma de datos con correas trapezoidales.

Figura 29. Adquisición de datos de calidad energética.



Fuente: Autor

4.3.2 *Cálculo de la carga del motor eléctrico.* Para el cálculo de la carga del motor eléctrico, se toma en cuenta los datos nominales de la placa del motor eléctrico establecidos en la tabla 16. En primera instancia se calcula la potencia eléctrica nominal (observe la ecuación 26).

$$P_{e_{nominal}} = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi)$$

$$P_{e_{nominal}} = \sqrt{3} * 220 * 1,87 * 0,72$$

$$P_{e_{nominal}} = 513,04 \text{ w}$$

$$P_{e_{nominal}} = 0,513 \text{ kw}$$

Donde la carga del motor eléctrico es la relación de la potencia de entrada medida sobre la potencia eléctrica nominal

$$Cargar \text{ del motor} = \frac{P_{e_{medido}}}{P_{e_{nominal}}}$$

$$Cargar \text{ del motor} = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi)}{P_{e_{nominal}}}$$

$$Carga\ del\ motor = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi)}{513,04} * 100$$

4.3.3 *Medición de la calidad energética en correas de alto rendimiento.* Calidad energética en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 se detalla en la tabla 24. Donde el trabajo es el voltaje de corriente continua generada por el alternador con una excitación de 7.5 voltios, a tensiones establecidas.

Tabla 24. Calidad energética con las correas de alto rendimiento SPA-23.

T1	Voltaje	Intensidad	Fp	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Trabajo	Carga del motor
N	V	A		kw	kvar	kva	Voltaje	%
56,76	213,5	1,7	0,52	0,32	0,56	0,64	17,1	62%
133,25	213,4	1,8	0,53	0,34	0,56	0,65	17,1	66%
209,11	213,42	1,82	0,54	0,36	0,56	0,66	17,1	70%
285,04	213,45	1,84	0,57	0,37	0,56	0,67	17,1	72%
361,02	213,2	1,86	0,59	0,39	0,56	0,68	17,2	76%
437,05	213,11	1,89	0,61	0,41	0,55	0,69	17,2	80%
513,14	212,9	1,95	0,62	0,43	0,55	0,70	17,2	84%
589,28	212,89	1,97	0,65	0,45	0,55	0,71	17,3	88%
665,48	212,85	2,01	0,655	0,47	0,55	0,71	17,3	92%
741,73	212,81	2,1	0,66	0,49	0,55	0,71	17,3	96%

Fuente: autor

4.3.3.1 *Ecuación de la tensión T1 en función de la potencia activa P.* Para el cálculo de la ecuación de la tensión T1 en función de la potencia activa, aplicamos el método de los mínimos cuadrados, para la misma se utiliza los valores de la tabla 24.

Los parámetros principales del método de los mínimos cuadrados son la sumatoria de la tensión T1, sumatoria de la potencia activa P, el producto de la tensión del lado tenso T1 por la potencia activa y la tensión T1 elevada al cuadrado. Los parámetros se detallan en la tabla 25.

Tabla 25. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de alto rendimiento.

Parámetros de los mínimos cuadrados				
	T1	P	T1*P	T1 ²
Sumatoria	3991,85	4,03	1726,2	2070883,6

Fuente: autor

La pendiente de la recta, se calcula con la ecuación mencionada a continuación, dónde los parámetros se establecen en la tabla 25.

$$m = \frac{n * \sum(T1 * P) - \sum T1 * \sum P}{n * \sum T1^2 - (\sum T1)^2}$$

$$m = \frac{10 * 1726,2 - 3991,85 * 4,03}{10 * 2070883,6 - 3991,85^2}$$

$$m = 0,0002 \frac{N}{kw}$$

El punto intersección con el eje de las ordenadas, se calcula con la siguiente ecuación establecida a continuación.

$$b = \frac{\sum P - m * \sum T1}{n}$$

$$b = \frac{4,03 - 0,0002 * 3991,85}{10}$$

$$b = 0,32 N$$

Ecuación empírica de la tensión T1 en función de la potencia activa P, para correas de alto rendimiento SPA-23. Donde la constante de proporcionalidad es de 0,0002 N/kw i el punto de intersección con el eje de las ordenadas es 0,32 N.

$$T1 = m * P - b$$

$$T1 = 0,0002 N * P + 0,32 N$$

4.3.4 *Medición de la calidad energética en correas de perfil clásico.* Calidad energética en correas trapezoidales de perfil clásico A-23 se detalla en la tabla 26. Donde el trabajo es el voltaje que genera el alternador a tensiones establecidas y una excitación del rotor de 7,5 voltios de corriente continua.

La calidad energética en la correa trapezoidal de perfil clásico A-23 depende de 6 factores como son: el voltaje, la intensidad, el factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva y la potencia aparente o también denominada potencia total. Así la carga del motor eléctrico de ½ HP debe estar dimensionada al 80 por ciento de su carga nominal.

Tabla 26. Calidad energética con las correas de perfil clásico A-23.

T1	Voltaje	Intensidad	Fp	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente	Trabajo	Carga
N	V	A		kw	kvar	kva	Voltaje	
56,76	213,6	1,81	0,54	0,36	0,57	0,66	17,1	70%
133,25	213,5	1,85	0,56	0,38	0,57	0,67	17,1	74%
209,11	213,2	1,87	0,58	0,4	0,57	0,68	17,1	78%
285,04	213,1	1,9	0,61	0,42	0,56	0,69	17,1	82%
361,02	212,99	1,95	0,64	0,45	0,56	0,71	17,1	88%
437,05	212,9	1,97	0,66	0,48	0,56	0,72	17,2	94%
513,14	212,7	2	0,68	0,51	0,55	0,74	17,2	99%
589,28	212,6	2,1	0,7	0,52	0,55	0,75	17,2	101%
665,48	212,5	2,15	0,71	0,55	0,55	0,77	17,2	107%
741,73	212,4	2,17	0,72	0,56	0,55	0,78	17,2	109%

Fuente: autor

4.3.4.1 *Ecuación de la tensión T1 en función de la potencia activa P.* Para el cálculo de la ecuación de la tensión del lado tenso T1, en función de la potencia activa para las correas trapezoidales de perfil clásico A-23, se aplica el método de los mínimos cuadrados, con los valores de la tabla 26.

Los parámetros principales del método de los mínimos cuadrados son, la sumatoria de la tensión T1, sumatoria de la potencia activa P, el producto de la tensión T1 por la potencia activa y la tensión T1 elevada al cuadrado. Los parámetros principales se detallan en la tabla 27.

Tabla 27. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico.

Parámetros de los mínimos cuadrados				
	T1	P	T1*P	T1 ²
sumatoria	3991,85	4,63	1996,2	2070883,6

Fuente: autor

La pendiente de la recta, se calcula con la ecuación mencionada a continuación, donde los parámetros se establecen en la tabla 27.

$$m = \frac{n * \sum(T1 * P) - \sum T1 * \sum P}{n * \sum T1^2 - (\sum T1)^2}$$

$$m = \frac{10 * 1996,2 - 3991,85 * 4,63}{10 * 2070883,6 - 3991,85^2}$$

$$m = 0,0003 \frac{N}{KW}$$

El punto intersección con el eje de las ordenadas, se calcula con la ecuación establecida a continuación.

$$b = \frac{\sum P - m * \sum T1}{n}$$

$$b = \frac{4,63 - 0,0003 * 3991,85}{10}$$

$$b = 0,34 N$$

Ecuación empírica de la tensión T1 en función de la potencia activa P, para la correa trapezoidal de perfil clásico A-23. Donde la constante de proporcionalidad es 0,0003 N/kw i el punto de intercesión con el eje de las ordenadas es de 0,34 N.

$$T1 = m * P - b$$

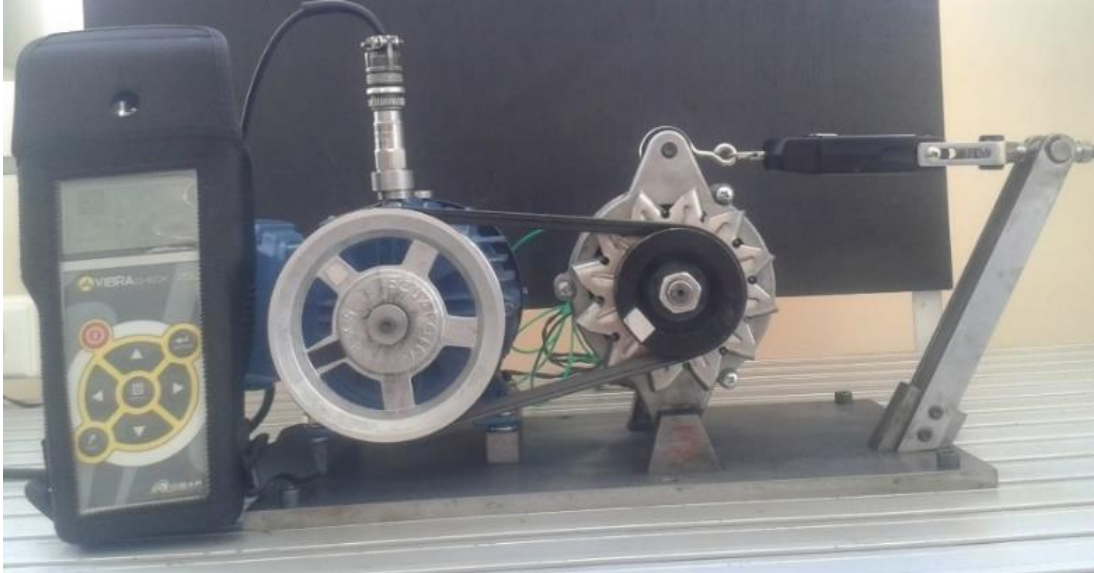
$$T1 = 0,0003 N * P + 0,34 N$$

4.4 Mediciones de vibraciones en el banco de pruebas.

El análisis vibracional del sistema de trasmisión del módulo, se realiza a tensiones establecidas en la tabla 19 y para la misma se utilizará el vibracheck 200 ABG y software MAINTraQ Predictive. El estudio de vibraciones se realiza en la correa trapezoidal de perfil clásicas A-23 y en la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23.

La metodología que se aplica para la toma de datos de la vibración en el sistema de transmisión es a intervalos de 5 Newton ejercidas por la báscula digital.

Figura 30. Recolección de datos de vibraciones



Fuente Autor

4.4.1 *Cálculo de las frecuencias dominantes en el sistema de transmisión.* Para el cálculo de las frecuencias dominantes en el sistema de transmisión se utiliza las cartas de Charlotte establecidas en el capítulo 2.

4.4.1.1 *Frecuencia fundamental de banda FFB. calculada.* Según las cartas de Charlotte la frecuencia de la correa trapezoidal se determina con la ecuación 24.

$$FFB = \frac{3,142 * polea RPM * Diam.paso}{longitud de la bada * 60} \quad [Hz]$$

4.4.1.2 *Cálculo de la frecuencia fundamental.* La frecuencia fundamental del sistema de transmisión del banco de pruebas o también denominada 1X es igual a la velocidad angular del eje del motor y 2X es la velocidad angular del eje del alternador. Las ecuaciones de la 1X y la 2X se representan en la ecuación.

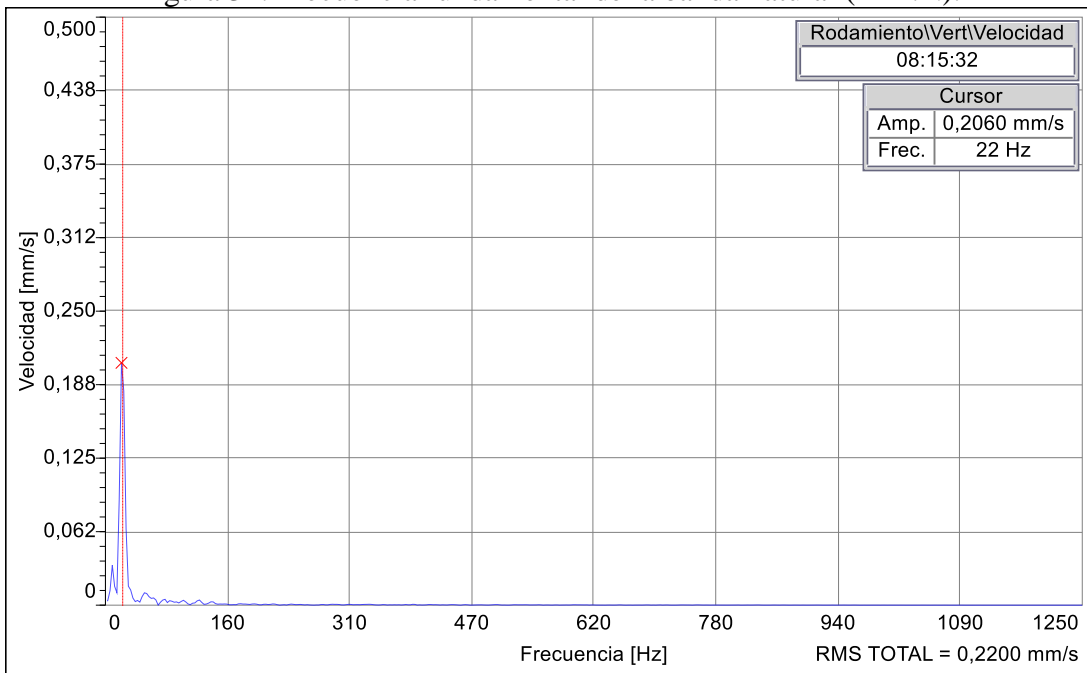
$$1X = \frac{CPM}{60} \quad [Hz]$$

$$2X = \frac{CPM}{60} \quad [Hz]$$

4.4.2 *Frecuencia fundamental de banda natural (FFB.N).* La frecuencia natural de la correa trapezoidal se obtiene excitando el ramal de la correa, don del sistema se encuentra en estado estático.

Para determinar la frecuencia natural del ramal de la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 y la correa trapezoidal de perfil clásico A-23 se utiliza el equipo vibracheck 200 ABG y el programa MAINTraq Viwer. La frecuencia natural se observa en el espectro de velocidad y es el espectro predominante. Como se observa en la figura 31.

Figura 31. Frecuencia fundamental de la banda natural (FFB.N).

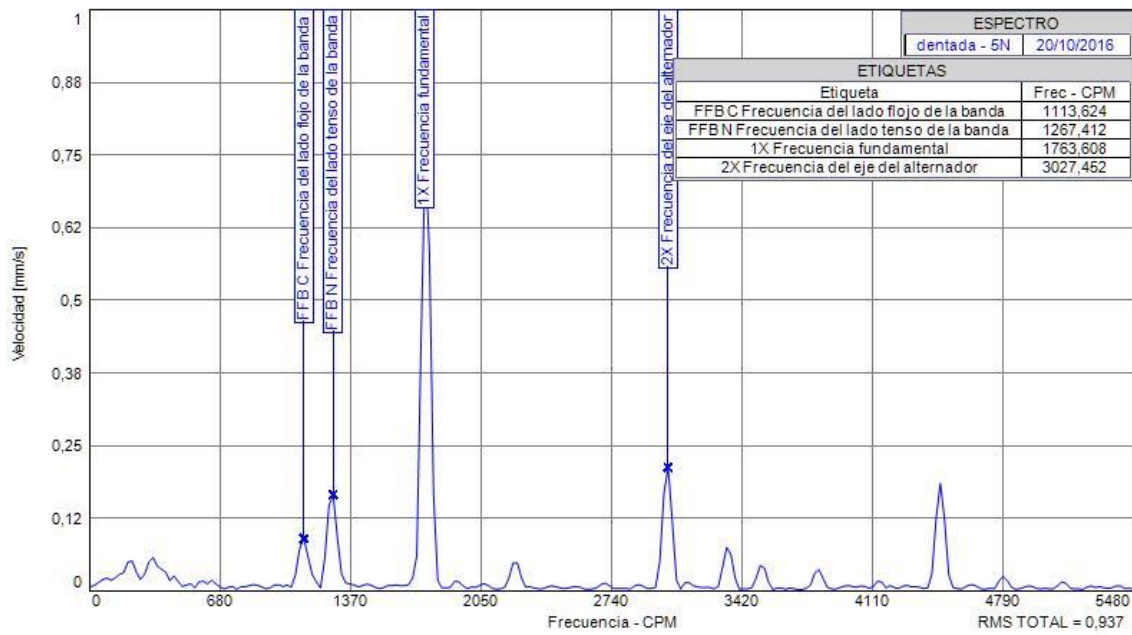


Fuente: Autor

4.4.3 *Espectro de velocidad en correas de alto rendimiento SPA-23.* Los espectros principales se detallan en la figura 32. Donde los parámetros principales de ilustran en el espectro de velocidad, la frecuencia está en el rango de 15Hz a 150 Hz.

4.4.4 En el espectro de velocidad, en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23, se observa la frecuencia fundamental de banda FFB, como se detalla en la a grafica 32.

Figura 32. Espectro de velocidad en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23.



Fuente: Autor

4.4.5 *Toma de datos de vibraciones en correas de alto rendimiento.* La adquisición de datos de vibraciones en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 se detalla en la tabla 28.

Tabla 28. Datos de vibraciones en correas de alto rendimiento SPA-23.

Correas de alto rendimiento SPA-23									
Tensión lado tenso	Frecuencia natural de la correa		Frecuencia calculada de la correa		Velocidad del eje del motor		Velocidad del eje del alternador		RMS total
	FFB. N	FFB. N	FFB.	FFB.	1X	1X	2X	2X	
T1 [n]	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Mm/s
56,76	20,8	0,15	18,8	0,24	29,15	0,88	50,05	0,22	1,08
133,25	20,8	0,14	18,7	0,23	29,05	0,86	49,90	0,22	1,071
209,11	20,8	0,13	18,6	0,22	28,95	0,84	49,82	0,23	1,06
285,04	20,8	0,12	18,5	0,21	28,85	0,82	49,66	0,23	1,053
361,02	20,8	0,11	18,4	0,20	28,75	0,80	49,63	0,23	1,04
437,05	20,8	0,10	18,3	0,19	28,65	0,78	49,58	0,24	1,035
513,14	20,8	0,90	18,2	0,18	28,55	0,76	49,48	0,24	1,026
589,28	20,8	0,08	18,1	0,17	28,45	0,74	49,37	0,26	1,015
665,48	20,8	0,08	18,0	0,16	28,40	0,72	49,26	0,26	1,008
741,73	20,8	0,07	17,9	0,15	28,35	0,72	49,18	0,27	1,001

Fuente: Autor

Donde la tabla mencionada contiene 10 mediciones de 5 parámetros como son: FFB.N que representa la frecuencia natural de la correa, FFB que representa la frecuencia calculada de la correa, 1x es el espectro de la velocidad angular del eje del motor, 2X que representa la velocidad angular del eje del alternador y finalmente RMS que representa la vibración eficaz

4.4.5.1 *Ecuación de la tensión T1 en función de RMS.* Para el cálculo de la ecuación de la tensión del lado tenso T1, aplicamos el método de los mínimos cuadrados, con los valores de la tabla 28.

Los parámetros principales del método de los mínimos cuadrados son la sumatoria de la tensión T1, sumatoria RMS, el producto de la tensión T1 por RMS y la tensión T1 elevada al cuadrado. Los parámetros se detallan en la tabla 29.

Tabla 29. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico.

Parámetros de los mínimos cuadrados			
T1	RMS	T1*RMS	T1 ²
3991,85	10,4	4091,5	2070883,59

Fuente: Autor

La pendiente de la recta, se calcula con la ecuación mencionada a continuación, donde los parámetros se detallan en la tabla 29.

$$m = \frac{n * \sum(T1 * RMS) - \sum T1 * \sum RMS}{n * \sum T1^2 - (\sum T1)^2}$$

$$m = \frac{10 * 4091,5 - 3991,85 * 10,4}{10 * 2070883,6 - 3991,85^2}$$

$$m = -0,0001 \frac{N * mm}{s}$$

El punto intersección con el eje de las ordenadas o también denominada eje de las Y, se calcula con la siguiente ecuación, donde la intersección es de 1,08.

$$b = \frac{\sum RMS - m * \sum T1}{n}$$

$$b = \frac{10,4 + 0,0001 * 3991,85}{10}$$

$$b = 1,08 N$$

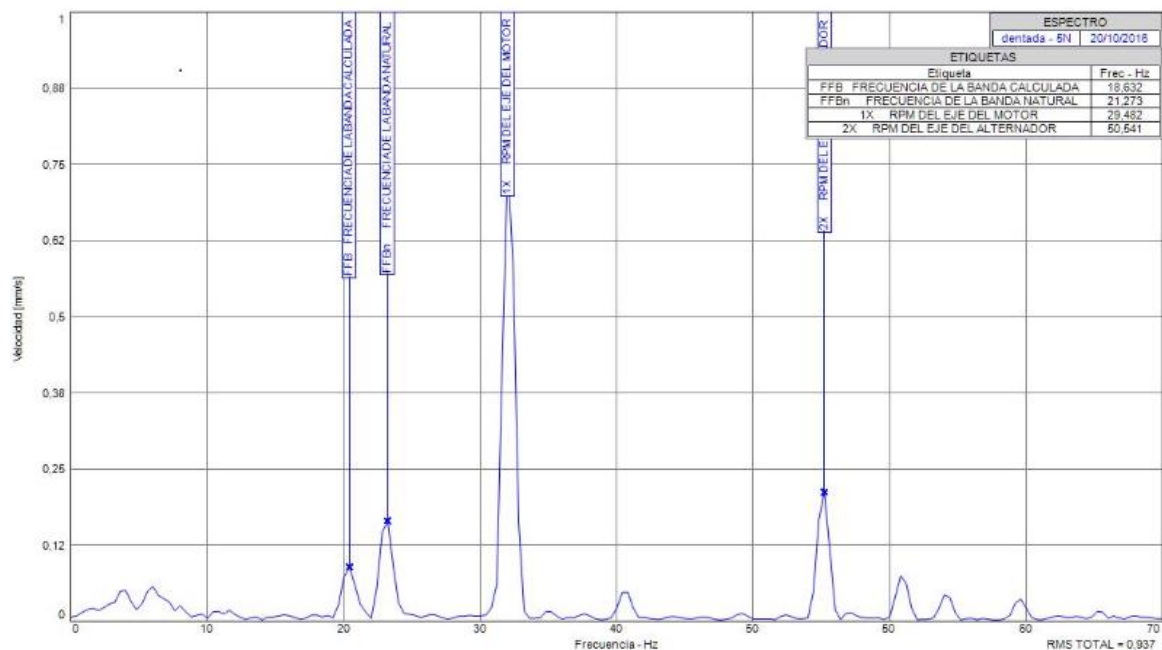
La ecuación empírica de la tensión del lado tenso T1 en función de RMS, para correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23, es una ecuación lineal con una pendiente de - 0.0001 N*mm/s i el punto de intercesión en el eje de las ordenadas de 1.08 N.

$$T1 = m * Rms + b$$

$$T1 = -0,0001N * RMS + 1,08 N$$

4.4.6 *Espectro de velocidad en correas de perfil clásico A-23.* La frecuencia de la correa trapecoidal está por debajo de la frecuencia del eje del motor eléctrico de ½ HP o también denominada 1X, la misma se detallan en la figura 33. Donde los parámetros principales de ilustran en el espectro de velocidad, la frecuencia está en el rango de 15Hz a 150 Hz.

Figura 33. Espectro de velocidad en correas trapecoidales de perfil clásico.



Fuente: Autor

4.4.7 *Toma de datos de vibraciones en correas de perfil clásico.* La adquisición de datos de vibraciones en correa trapezoidal A-23, se detalla en la tabla 30.

Tabla 30. Datos de vibraciones en correas de perfil clásico.

Correa de perfil clásico A-23									
Tensión lado tenso	Frecuencia natural de la correa		Frecuencia calculada de la correa		Velocidad del eje del motor		Velocidad del eje del alternador		RMS total
	FFB.N		FFB		1X		2X		
T1 [N]	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Hz	Mm/s	Mm/s
56,76	21,3	0,16	18,6	0,09	29,40	0,75	50,46	0,21	0,937
133,25	21,3	0,18	18,54	0,08	29,33	0,76	50,55	0,206	0,985
209,11	21,3	0,21	18,50	0,08	29,30	0,79	50,71	0,203	1,033
285,04	21,3	0,22	18,48	0,07	29,29	0,82	50,81	0,199	1,083
361,02	21,3	0,24	18,43	0,07	29,25	0,83	50,94	0,195	1,14
437,05	21,3	0,25	18,42	0,06	29,20	0,86	51,02	0,192	1,19
513,14	21,3	0,28	18,37	0,06	29,27	0,87	51,18	0,187	1,22
589,28	21,3	0,32	18,36	0,05	29,11	0,89	51,25	0,185	1,29
665,48	21,3	0,34	18,31	0,05	29,10	0,92	51,38	0,182	1,34
741,73	21,3	0,38	18,3	0,05	29,10	0,93	51,40	0,18	1,36

Fuente: Autor

4.4.7.1 *Ecuación de la tensión T1 en función de RMS.* Para el cálculo de la ecuación de la tensión del lado tenso T1, aplicamos el método de los mínimos cuadrados, con los valores de la tabla 30.

Los parámetros principales del método de los mínimos cuadrados son la sumatoria de la tensión T1, sumatoria RMS, el producto de la tensión T1 por RMS y la tensión T1 elevada al cuadrado. Los parámetros se detallan en la tabla 31.

Tabla 31. Parámetros de los mínimos cuadrados para correas de perfil clásico.

parámetro de mínimos cuadrados			
T1	RMS	T1*RMS	T1*t1
3991,85	11,6	4927,5	2070883,59

Fuente: Autor

La pendiente de la recta, se calcula con la ecuación mencionada a continuación, donde los parámetros se detallan en la tabla 31.

$$m = \frac{n * \sum(T1 * RMS) - \sum T1 * \sum RMS}{n * \sum T1^2 - (\sum T1)^2}$$

$$m = \frac{10 * 4927,5 - 3991,85 * 11,6}{10 * 2070883,6 - 3991,85^2}$$

$$m = 0,0006 \frac{N * mm}{s}$$

El punto intersección con el eje de las ordenadas, se calcula con la siguiente ecuación, donde el punto de intersección es de 0,9 N.

$$b = \frac{\sum RMS - m * \sum T1}{n}$$

$$b = \frac{11,6 - 0,0006 * 3991,85}{10}$$

$$b = 0,90 N$$

Ecuación de la tensión T1 en función de RMS, para la correa de perfil clásico A-23. Donde la ecuación es una line recta con una pendiente de 0,0006 N*mm/s y con el punto de intersección con el eje de las ordenadas de 0,90 N.

$$T1 = m * Rms - b$$

$$T1 = 0,0006 N * RMS + 0,90 N$$

4.5 Cálculo de la tensión con el método de la flecha constante.

Para el cálculo del tensado con el método de la flecha constante, se realiza el cálculo del tramo libre, cálculo de la deflexión y el cálculo de la fuerza de deflexión, con la distancia entre centros C calculada en el capítulo 3.

4.5.1 *Cálculo del tramo libre (Ls).* La distancia entre centros C calculada en el capítulo 3 es de 15.3cm, donde la distancia Ls es igual a 11.5 cm.

$$Ls = C \left[1 - 0,125 \frac{(D - d)^2}{C} \right]$$

$$L_s = 15,3\text{cm} \left[1 - 0,125 \frac{(12,5\text{cm} - 7,0\text{cm})^2}{15,3\text{cm}} \right]$$

$$L_s = 11,5 \text{ cm}$$

4.5.2 *Cálculo de la deflexión (y).* La longitud del tramo libre del sistema de transmisión es de 115mm. La misma que es menor que 500, por ello utilizamos el criterio 1 de la ecuación 14.

$$y = 0,02\text{mm} * L_s$$

$$y = 0,02\text{mm} * 115\text{mm}$$

$$y = 2,3\text{mm}$$

Para una tensión adecuada con el método de la flecha constante, la correa trapezoidal debe deformarse 2,3mm con una fuerza de deflexión de 1,5 Kgf establecida por los fabricantes, observe la tabla 9.

4.5.3 *Tensión de la correa con el método de la flecha constante.* Para el cálculo de la tensión del sistema, aplicamos el sistema de ecuaciones 33,34 y 35.

Tabla 32. Tensión de la correa con el método de la flecha constante

F.	W.	C	GJ	φ	β	T.	T1	R.
[N]	[N]	[cm]	cm	grados	grados	[N]	[N]	[N]
245,25	31,78	15,32	15,93	0,18	1,09	-180,71	361,02	145,79

Fuente: Autor

4.5.4 *Deslizamiento con el método de la flecha constante.* El deslizamiento se estudia en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidales de perfil clásico A-23. El deslizamiento en las correas trapezoidales se calcula con la ecuación 41, donde el deslizamiento se detallan en la tabla 33.

Tabla 33. Deslizamiento con el método de la flecha constante.

Deslizamiento Dz			
	Correas de alto rendimiento SPA-23	Correas de perfil clásico A-23	Unidades
Tensión (T1)	361,02	361,02	N
RPM 1	1740	1738	RPM
RPM 2	3070	3028	RPM
Deslizamiento (Dz)	1,20	2,44	%
Eficiencia de transmisión (1-Dz)	98,8	97,56	%

Fuente: Autor

4.5.5 *Calidad energética con el método de la flecha constante.* La calidad energética se estudia en las correas trapecoidal de alto rendimiento SPA-23 y en las correas de perfil clásicos A-23. El estudio de la calidad energética en las correas trapecoidales se detalla en la tabla 34.

Tabla 34. Calidad energética con el método de la flecha constante.

Calidad energética			
	Correas de alto rendimiento SPA-23	Correas de perfil estrecho A-23	Unidades
Voltaje	212,2	212,2	V
Intensidad	1,8	1,9	A
Potencia activa	0,38	0,47	Kw
Potencia reactiva	0,56	0,55	Kvar
Potencia total	0,66	0,72	Kvar
Factor de potencia	0,55	0,64	
Trabajo generado	17,35	16,8	V
Carga del motor	74	90	%

Fuente: Autor

4.5.6 *Análisis vibracional con el método de la flecha constante.* Las mediciones de las vibraciones con el método de la flecha constante se detalla en la tabla 35. La toma de datos se realiza con las correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapecoidales de perfil clásico A-23.

Los parámetros principales analizados en la vibración, con el método de la flecha constante es la frecuencia de banda natural y calculada.

Tabla 35. Datos de vibraciones con el método de la flecha constante.

Análisis vibracional				
	Correa trapezoidal de alto rendimiento		Correa trapezoidal de perfil clásico	
	Hz	Amplitud mm/s	Hz	Amplitud mm/s
1X	29,002	0,933	28,9	0,825
2X	51,22	0,37	50,4	0,35
FFB.N	22,3	0,59	21,7	0,097
FFB	18,06	0,061	17,9	0,119
RMS	1,2 mm/s		1,03 mm/s	

Fuente: Autor

4.6 Cálculo de la tensión con el método de la frecuencia de vibraciones.

Para el cálculo del tensado de la correa trapezoidal, con el método de la frecuencia de vibraciones se realiza los siguientes cálculos. El cálculo de la tensión se realiza en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en la correa trapezoidal clásico a-23.

4.6.1 *Cálculo del tramo libre (ls).* El cálculo del tramo libre se calcula con la ecuación 15, donde los diámetros de la polea menor y polea mayor esta establecidos en la unidad 3 y la distancia entre centros es de 153 mm.

$$ls = \sqrt{c^2 - \frac{(D - d)^2}{4}}$$

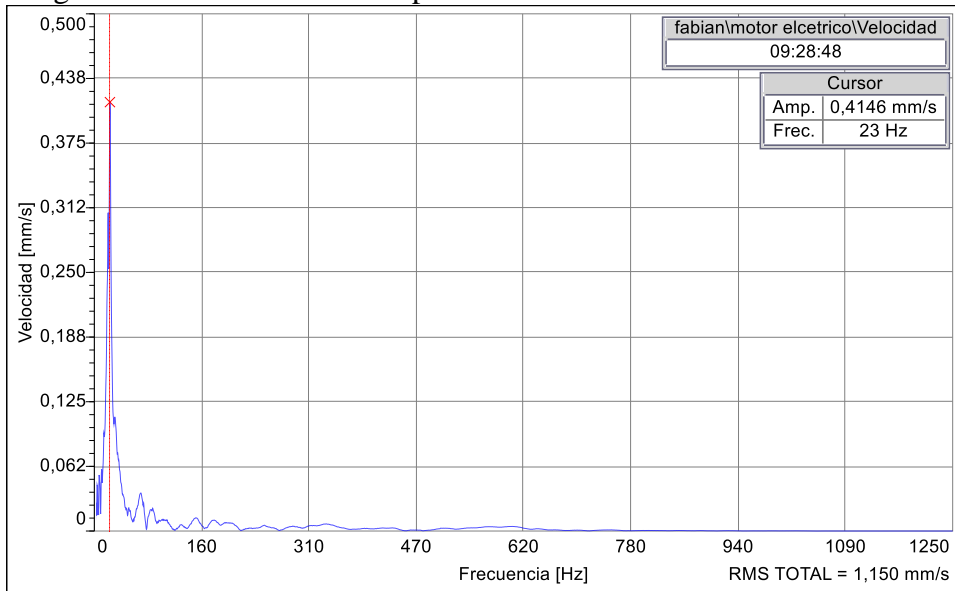
$$ls = \sqrt{153mm^2 - \frac{(125 - 70)^2}{4}}$$

$$ls = 150,5mm$$

4.6.2 *Frecuencia natural para correas de alto rendimiento SPA-23.* La frecuencia natural en la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23, se obtiene mediante el equipo

Vibrachek 200 ABG y el programa Maintraq viewer. La frecuencia natural de la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 es de 23 Hz como se detalla en la figura 34.

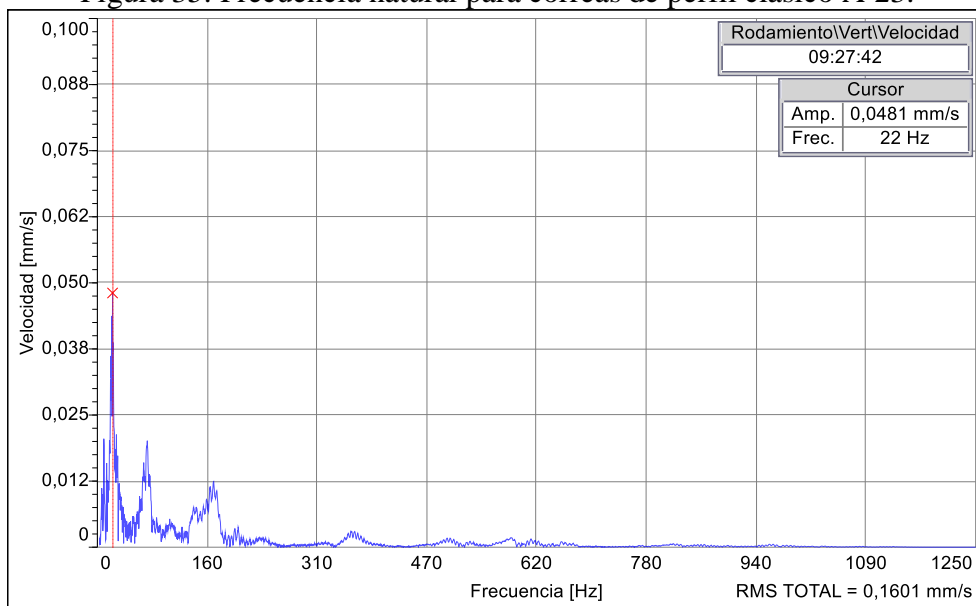
Figura 34. Frecuencia natural para correas de alto rendimiento SPA-23.



Fuente autor

4.6.3 *Frecuencia natural para correas de perfil clásico A-23.* La frecuencia natural de la correa se obtiene con el equipo vibrachk 200 ABG y el programa viwer. La frecuencia natural de la correa trapezoidal de perfil clásico es de 22Hz como se observa en la figura 35.

Figura 35. Frecuencia natural para correas de perfil clásico A-23.



Fuente: autor

4.6.4 *Cálculo de la tensión del ramal (T_{ramal}).* Para el cálculo de la tensión de la correa trapezoidal se realiza con la ecuación 16. Se considera los siguientes parámetros, la masa(m) es 0.123kg/m, observe la tabla 1 y la tabla 2 y la frecuencia natural de la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 y la correa trapezoidal de perfil clásico establecidas en las figuras 34 y 35.

$$T_{ramal} = 4 * m * ls^2 * f^2 \quad [N]$$

La tensión del ramal de la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 y la correa trapezoidal de perfil clásico A-23 se detalla en la tabla 36.

Tabla 36. Tensión del ramal en el sistema de trasmisión.

Cálculo de la tensión del ramal			
Masa (m)	Tramo libre (ls)	Frecuencia natural(f)	T. ramal
Kg/m	Metros(m)	Hz	N
Correa de alto rendimiento SPA-23			
0,123	0,15	23	6
Correa de perfil clásico A-23			
0,109	0,17	22	6

Fuente: autor

4.6.5 *Tensión de la correa con el método de la frecuencia de vibraciones.* Para el Cálculo de la tensión del sistema, aplicamos el sistema de ecuaciones 33,34 y35. La tension de la correa mediante el metodo de la frecuencia de vibraciones se detalla en la tabla 37.

Tabla 37. Tensión de la correa con el método de la frecuencia de vibraciones.

F	W	C	GJ	φ	β	T	T1	R
[N]	[N]	[cm]	cm]	grados	grados	[N]	[N]	[N]
Correas de alto rendimiento SPA-23.								
245,25	31,78	15,32	15,94	0,18	1,09	-180,71	361,02	145,79
Correas de perfil clásico A-23.								
196,2	31,78	15,29	15,95	0,18	1,09	-144,02	285,04	123,18

Fuente: autor

4.6.6 *Deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones.* El deslizamiento se estudia en la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidal de perfil clásicos A-23. El deslizamiento en las correas trapezoidales se calcula con la ecuación 41, el deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones se detallan en la tabla 38.

Tabla 38. Deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones.

Deslizamiento con el método de la frecuencia de vibraciones			
	Correas de alto rendimiento	Correas de perfil clásico	Unidades
Tensión	361,02	285,04	N
RPM 1	1741	1735	RPM
RPM 2	3075	3029	RPM
Deslizamiento	1,09	2,2	%
Eficiencia de transmisión (1-Dz)	98,9	97,8	%

Fuente: autor

4.6.7 *Calidad energética con el método de frecuencia de vibraciones.* La calidad energética se estudia en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas de perfil clásicos A-23. El estudio de la calidad energética en las correas trapezoidales mediante el método de la frecuencia de vibraciones se detalla en la tabla 39.

Tabla 39. Calidad energética en el método de la frecuencia de vibraciones

Análisis energético con el método de la frecuencia de vibraciones			
	Correa de alto rendimiento	Correa de perfil clásico	Unidades
Voltaje	212,12	212,5	V
Intensidad	1,8	1,9	A
Potencia activa	0,35	0,45	kw
Potencia reactiva	0,56	0,56	kvar
Potencia total	0,65	0,71	kvar
Factor de potencia	0,53	0,61	
Trabajo generado	17,3	17	%
Carga del motor	68	87,7	%

Fuente: Autor

4.6.8 *Análisis vibracional con el método de frecuencia de vibraciones.* El estudio vibracional se realizó en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en la

correas de perfil clásicos A-23. El estudio del análisis vibracional con el metodo de la frecuencia de vibraciones se detalla en la tabla 40.

Tabla 40. Análisis vibracional con el método de la frecuencia vibraciones

	Correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23		Correas trapezoidales de perfil clásico A-23	
	Hz	Amp mm/s	Hz	Amp mm/s
1X	29,12	0,86	28,8	0,82
2X	51,42	0,39	50,4	0,53
FFB.N	22,3	0,044	21,4	0,051
FFB	18,13	0,048	17,9	0,13
RMS	1,2 mm/s		1,13 mm/s	

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

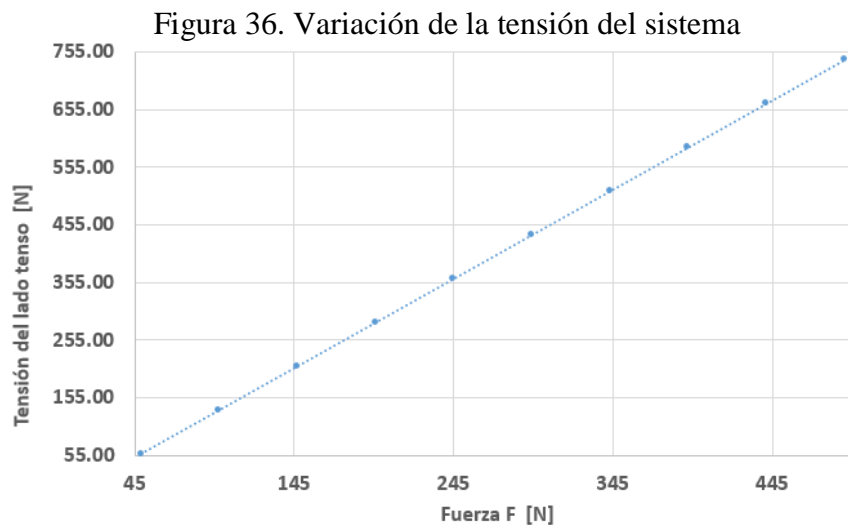
En este capítulo se analizará e interpretará los resultados de la tensión, del deslizamiento, de la calidad energética y los espectros de velocidad, medidos en el capítulo cuatro. Así como también se establecerá el tensado óptimo del sistema de transmisión entre los métodos de la frecuencia de vibraciones y el método de flecha constante.

5.1 Tensiones T1 del sistema de transmisión.

La fuerza ejercida por la báscula digital es directamente proporcional a la tensión de la correa trapezoidal. La ecuación empírica es lineal ya que los valores de la tensión T1 crecen en forma proporcional a la fuerza F ejercida por la báscula digital (observe la tabla 19), donde la pendiente de la fuerza F en función de la tensión T1 es de 1,55 y el punto de interacción con el eje de las ordenadas es de -19,2 N, la misma se detalla en el apartado 4.1.8.1 del capítulo cuatro.

$$F = 1,55 * T1 \text{ N} - 19,2 \text{ N}$$

La fuerza F ejercida por la báscula digital es directamente proporcional a la tensión T1 como se observa en la figura 36.



Fuente: Autor

5.2 Resultados del deslizamiento y eficiencia de trasmisión.

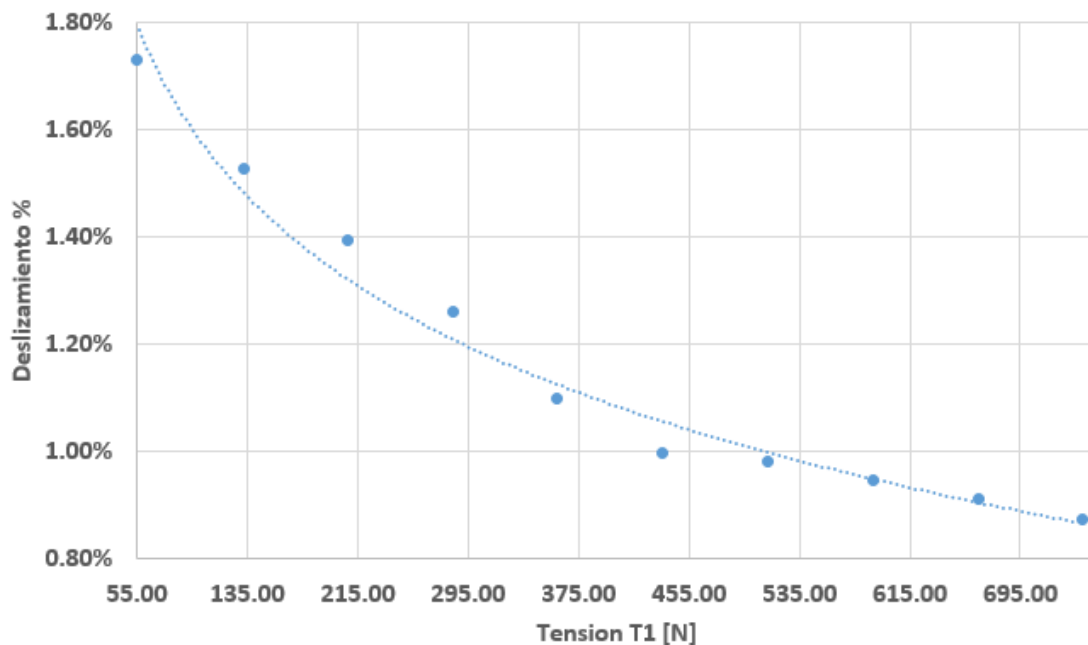
La ecuación del deslizamiento del sistema de trasmisión es el producto de la constante de deslizamiento por la exponencial elevado al recíproco de la tensión T1. Dicha ecuación es empírica y se ajusta para las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y para la correa trapezoidal clásica A-23. (Observe la ecuación 41)

$$Dz = K_0 * e^{1/T1}$$

5.2.1 *Resultado de deslizamiento en correas de alto rendimiento.* El deslizamiento en sistema de trasmisión en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 se ajusta a la ecuación 41, como se observa en la figura 37.

Con una tensión T1 mínima de 56,76 N (analizada en la tabla 19) el deslizamiento es de 1,73% y el sistema tiene una eficiencia de trasmisión de 98,3%. A su vez, su tensión máxima de 714,73 N el sistema tiene un deslizamiento del 0,87% y una eficiencia de trasmisión del 99,13% (observe la tabla 21).

Figura 37. Resultado de deslizamiento en correas de alto rendimiento SPA-23.



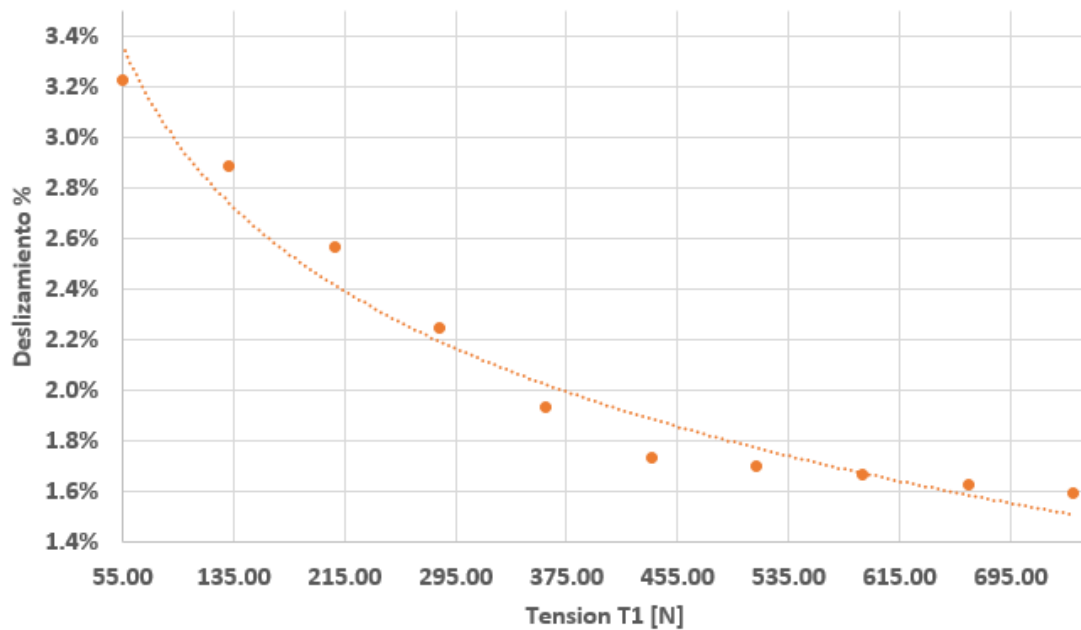
Fuente: autor

5.2.2 *Resultado de deslizamiento en de perfil clásico A-23.* El deslizamiento en el sistema de trasmisión en la correa trapezoidal clásica A-23, el deslizamiento Dz en

función de la tensión T1 se ajusta a una curva exponencial como se observa en la figura 38 (observe la ecuación 41).

Con una tensión T1 mínima de 56,76 Newton el deslizamiento es de 3,2% y una eficiencia de trasmisión del 97%. A su vez a su tensión máxima de 714,73 Newton el deslizamiento es de 1,6% y una eficiencia de trasmisión del 98% (observe la tabla 22).

Figura 38. Resultado de deslizamiento en correas trapecoidales de perfil clásico A-23.



Fuente: autor

5.3 Análisis vibracional en el sistema de trasmisión.

El análisis vibracional del sistema de trasmisión, se realiza en el espectro de velocidad en el programa MAINTraq Viewer para las correas trapecoidales de alto rendimiento SPA-23 y para las correas trapecoidales de perfil clásico A-23.

5.3.1 *Análisis vibracional en correas de alto rendimiento SPA-23.* En el espectro de velocidad se analiza la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB, en correa trapecoidal de alto rendimiento SPA-23 la frecuencia se encuentra por debajo de la frecuencia (1X) de las RPM del eje del motor eléctrico.

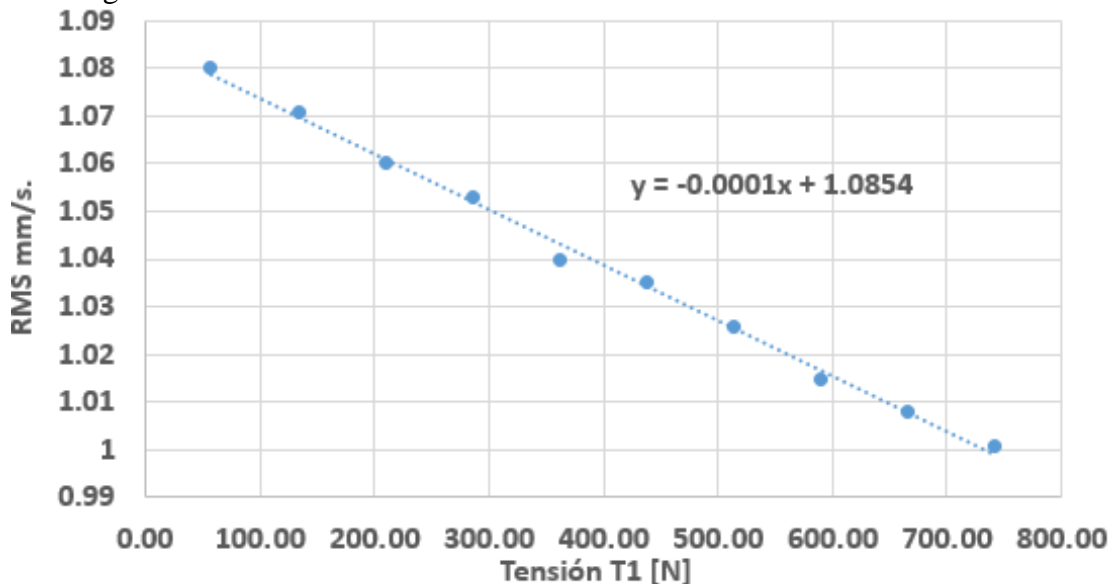
El nivel de vibración global RMS del sistema de trasmisión en la correa trapecoidal de alto rendimiento SPA-23 disminuye proporcionalmente en función de la tensión T1

(observe la tabla 28) como se observa en la figura 39. La ecuación de la tensión en función de RMS es de tipo lineal, donde su pendiente es de $-0,0001 \text{ N} \cdot \text{mm/s}$ y el punto de intersección con el eje de las ordenadas es de $1,08 \text{ N}$, la misma se detalla en el inciso 4.4.4.1 del capítulo cuatro.

$$T1 = -0,0001 \text{ N} * \text{RMS} + 1,08 \text{ N}$$

Con una tensión mínima de $56,76 \text{ Newton}$ corresponde al nivel de vibración global RMS de $1,08 \text{ mm/s}$ y a su máxima tensión de $741,73 \text{ Newton}$ equivale a $1,001 \text{ mm/s}$ (observe la tabla 28)

Figura 39. Resultados de vibraciones en correas de alto rendimiento SPA-23.

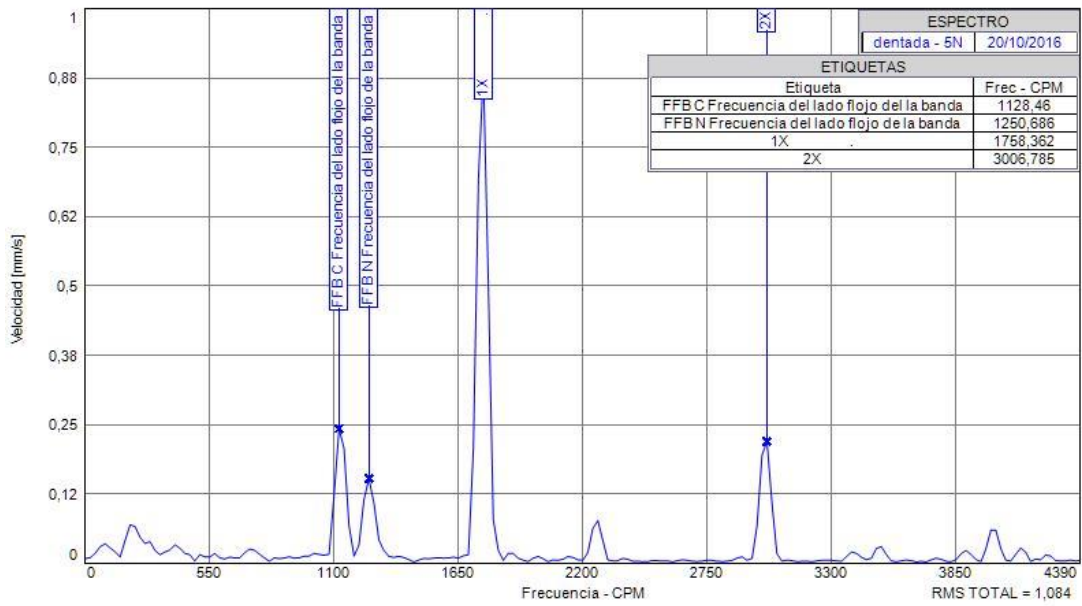


Fuente: autor

Con una tensión insuficiente en el sistema de transmisión en la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23, la amplitud de la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB y FFB.N, son significativamente elevada como se observa en la figura 40 (observe la tabla 28).

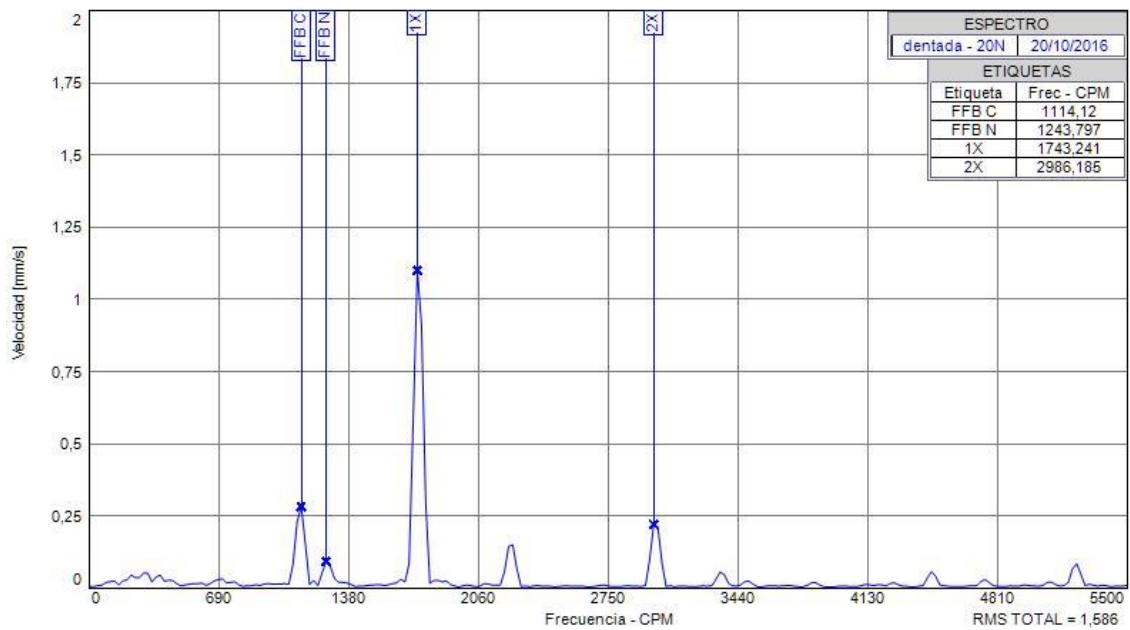
Con una tensión excesiva en el sistema de transmisión, la amplitud de la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB es elevada y la FFB.N es significativamente baja como se puede observar en la figura 41.

Figura 40. Espectro de velocidad con una tensión insuficiente a 5 N.



Fuente Autor

Figura 41. Espectro de velocidad con una tensión excesiva a 50 N.



Fuente Autor

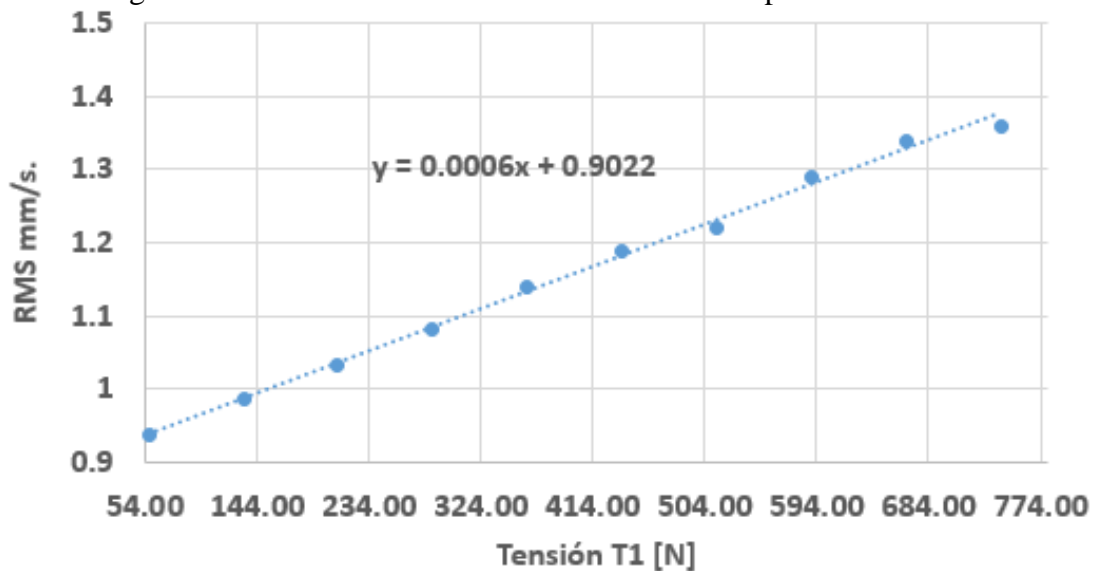
5.3.2 *Resultados de vibración en correas de perfil clásico A-23.* En el espectro de velocidad se analiza la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB, en correa trapezoidal de perfil clásico A-23 la frecuencia se encuentra por debajo de la frecuencia (1X) de las RPM del eje del motor eléctrico, como se observa en las figuras 43 y 44.

El nivel de vibración global RMS del sistema de transmisión en la correa trapezoidal de perfil clásico A-23 se incrementa proporcionalmente en función de la tensión T1 (observe la tabla 30), como se observa en la figura 42. A su vez la ecuación de la tensión en función de RMS es de tipo lineal, donde su pendiente es de 0,0006 N*mm/s y el punto de intersección con el eje de las ordenadas es de 0,90 N, la misma se detalla en el inciso 4.4.6.1 del capítulo cuatro.

$$T1 = 0,0006 N * RMS + 0,90 N$$

Una tensión mínima de 56,76 N corresponde a un nivel de vibración global RMS de 0,937 mm/s y con su máxima tensión de 741,73 N equivale a 1,36 mm/s (observe la tabla 30).

Figura 42. Resultado de vibraciones con correas de perfil clásico A-23.

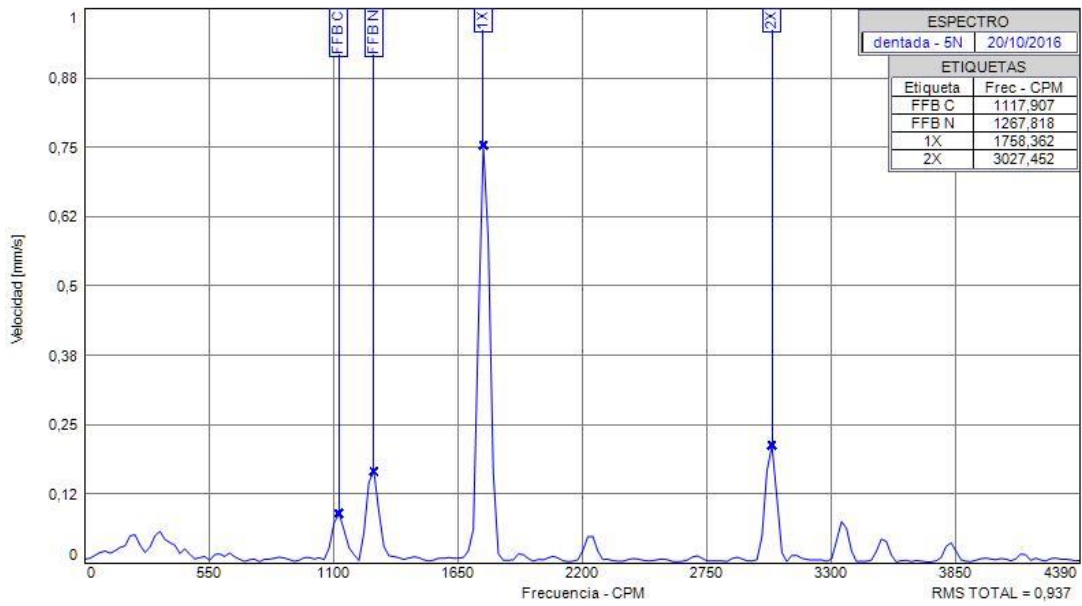


Fuente: Autor

Una tensión insuficiente en el sistema de transmisión en la correa trapezoidal de perfil clásico A-23, da por lo general dos picos de la frecuencia fundamental de la banda natural FFB.N y la FFB Calculada, son significativamente elevados, como se observa en la figura 43 (observe la tabla 30), estos análisis fueron realizadas en correas nuevas.

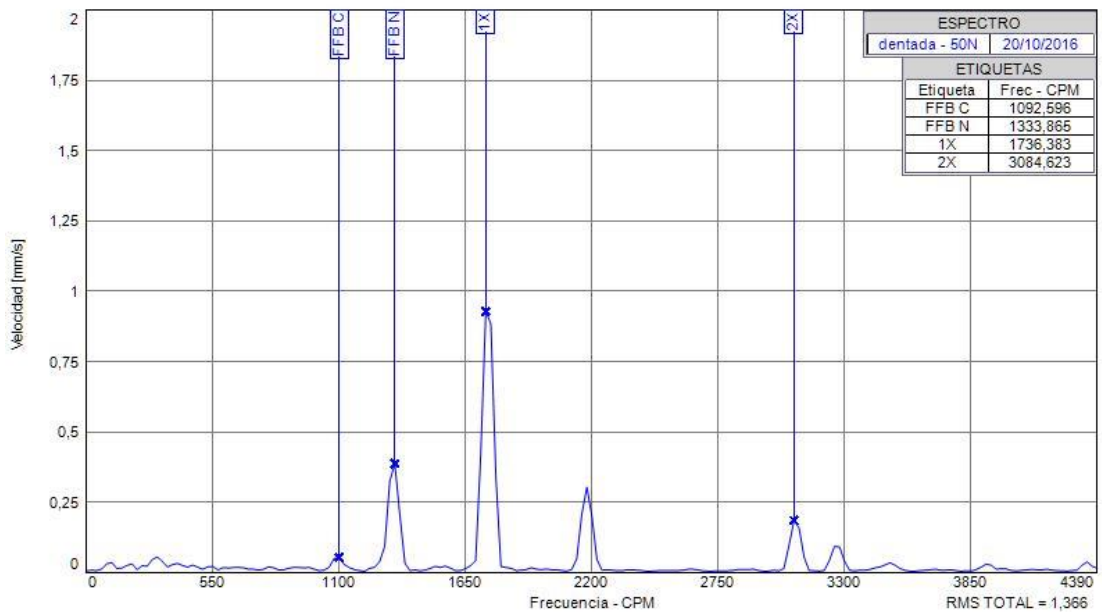
Con una tensión excesiva en el sistema de transmisión, la amplitud de la frecuencia fundamental de la banda Natural FFB.N es la que predomina y la FFB Calculada tiende a cero, como se puede observar en la figura 44 (observe la tabla30).

Figura 43. Espectro de velocidad con una tensión insuficiente a 5 N.



Fuente: Autor

Figura 44. Espectro de velocidad con una tensión excesiva a 50 N.



Fuente: Autor

5.4 Resultado de la calidad energética.

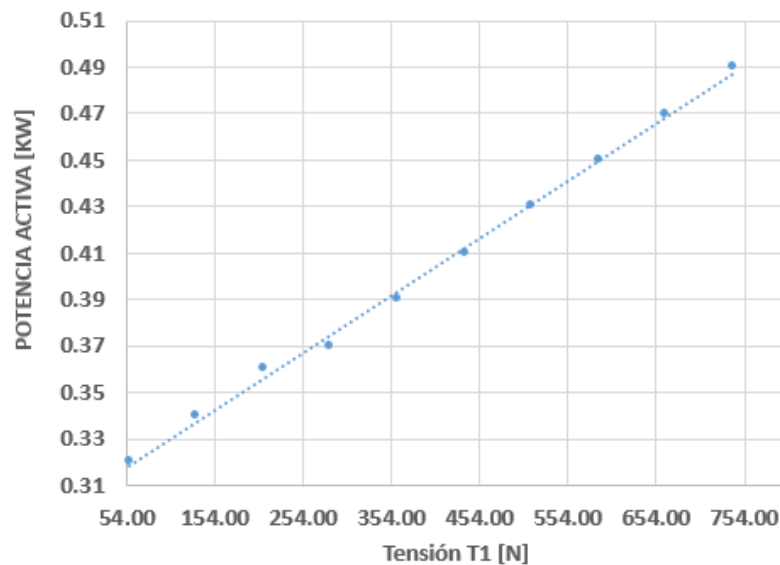
El banco de pruebas cuenta con una calidad energética simétrica. Donde el voltaje está desfasado 120 grados eléctricos una fase con respecto a otra y la frecuencia es de 60 Hz, así también los desfasajes de la corriente es de 120 grados eléctricos una fase con respecto a otra, como se detalla en la tabla 23.

5.4.1 *Resultado de la calidad energética en correas de alto rendimiento.* La potencia activa en la correa de alto rendimiento SPA-23, crece proporcionalmente en función de la tensión T1 (observe la tabla 24). La ecuación de la tensión en función de potencia activa es lineal como se detalla en la figura 45, donde la pendiente de la recta es 0,0002 N/kw y el punto de intersección es de 0,32 N, la misma se detalla en el punto 4.3.3.1 del capítulo cuatro.

$$T1 = 0,0002 N * P + 0,32 N$$

La potencia activa a su mínima tensión es de 56,76 Newton que equivale a 0,32 kw y a su máxima tensión de 741,73 N consume una potencia activa de 0,49 kw (observe la tabla 24).

Figura 45. Resultado de la potencia activa en correas de alto rendimiento SPA-23.



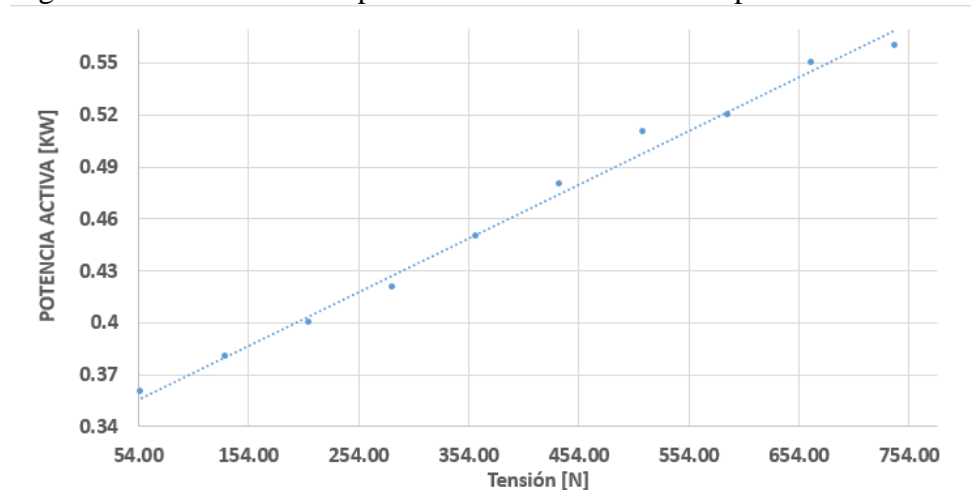
Fuente: autor

5.4.2 *Resultado de la calidad energética con correas de perfil clásico A-23.* La potencia activa en el sistema de transmisión en la correa trapezoidal clásica A-23 crece proporcionalmente en función de la tensión T1 (observe la tabla 26). La ecuación de la tensión en función de la potencia activa es lineal como se detalla la figura 46, donde la pendiente de la recta es de 0,0003 N/kw y el punto de intersección con el eje de las ordenadas es de 0,34 N, la misma se detalla en el punto 4.3.4.1 del capítulo cuatro.

$$T1 = 0,0003 N * P + 0,34 N$$

La potencia activa a su mínima tensión de 56,76 N equivale a 0,36 kw, a su máxima tensión de 741,73 N consume una potencia activa de 0,56 (observe la tabla 26).

Figura 46. Resultado de la potencia activa en correas de perfil clásico A-23.



Fuente: Autor

5.5 Análisis de resultado con el método de la flecha constante.

Los resultados se analizan en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidales de perfil clásico A-23 con el método de la flecha constante.

Las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y las correas de perfil clásico A-23 son sometidas a una deflexión de 2,3mm con una fuerza de deflexión de 1,5 kfg, donde la tensión de la correa del lado tenso es de 361,02 Newton y la tensión del lado flojo T es de 180,71 Newton y la reacción en el punto de apoyo es de 145,79 Newton, con una fuerza de 245,25 Newton ejercida por la báscula digital (observe la tabla 32)

El deslizamiento en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 es de 1,2% y en las correas trapezoidales de perfil clásico SPA-23 es de 2,44% (observe la tabla 33)

Las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 consumen una potencia activa de 0,38kw, donde el alternador genera un trabajo de 17,35 voltios. Las correas trapezoidales de perfil clásico A-23 consumen 0,47 kw de potencia activa, donde el alternador genera un trabajo de 16,8 voltios. (Observe la tabla 34)

En las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23, tiene una frecuencia fundamental de la banda calculada FFB es de 18,06 con una amplitud de 0,061 y el nivel de vibración global RMS es 1,2 mm/s. En la correa trapezoidal de perfil clásico A-23, existe una frecuencia de la banda calculada de 17,9 con una amplitud de 0,119 mm/s y un nivel de vibración global RMS de 1,03, como se detalla en la tabla 35.

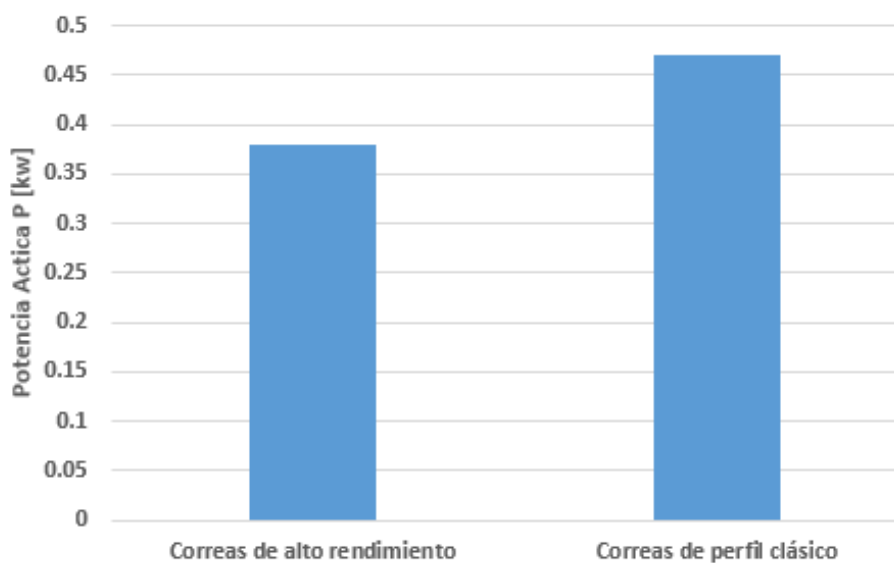
En la tabla 41 se representa un resumen del tensado con el método de la flecha constante, en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidales clásicas A-23.

Tabla 41. Análisis de resultado con el método de la flecha constante

Tensado con el método de la flecha constante								
Fuerza [N]	Tensión T1 [N]	Dz	1-Dz	Potencia activa [kw]	Trabajo generado	FFB. Calculada		RMS
						Hz	Mm/s	
Correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23.								
245,25	361,02	1,20%	98,80%	0,38	17,35	18,06	0,06	1,2
Correas trapezoidales de perfil clásico A-23.								
254,25	361,02	2,44%	97,56%	0,47	16,80	17,90	0,12	1,03

Fuente: Autor

Figura 47. Calidad energética con el método de la flecha constante



Fuente: Autor

Con el método de la flecha constante, las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 son las más eficientes que las correas trapezoidales de perfil clásico A-23, como se detalla en la figura 47.

5.6 Análisis de resultado con el método de la frecuencia de vibraciones.

Los resultados se analizan en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidales de perfil clásico A-23.

Las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23, donde la frecuencia natural es de 23Hz y para las correas de perfil clásico A-23 la frecuencia natural es de 22 Hz. La tensión del ramal es de 6 N (observe las figuras 34 y 35).

La tensión en la correa trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 es de 437,05 N para el caso del lado tenso, para el lado flojo es de 217,37 newton y la reacción en el punto de apoyo del alternador es de 168,28 newton (observe la tabla 37)

El deslizamiento en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 es de 1,94% y en las correas trapezoidales de perfil clásico A-23 es de 3,31% (observe la tabla 38).

Las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 consumen una potencia activa de 0,35kw, donde el alternador genera 17,35 voltios de trabajo. Las correas trapezoidales de perfil clásico A-23 consumen 0,45 kw, donde el alternador genera 16,8 voltios de trabajo (observe la tabla 39).

En las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23, tiene una frecuencia fundamental de la banda calculada FFB es de 18,13 Hz con una amplitud de 0,048 mm/s y un nivel de vibración global RMS de 1,2 mm/s. En las correas trapezoidales de perfil clásico A-23, la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB es de 17,9 Hz con una amplitud de 0,13mm/s y un nivel de vibración global RMS de 1,13 mm/s (observe la tabla 4).

En la tabla 42 se representa un resumen del tensado con el método de la frecuencia de vibraciones, en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y en las correas trapezoidales clásicas A-23.

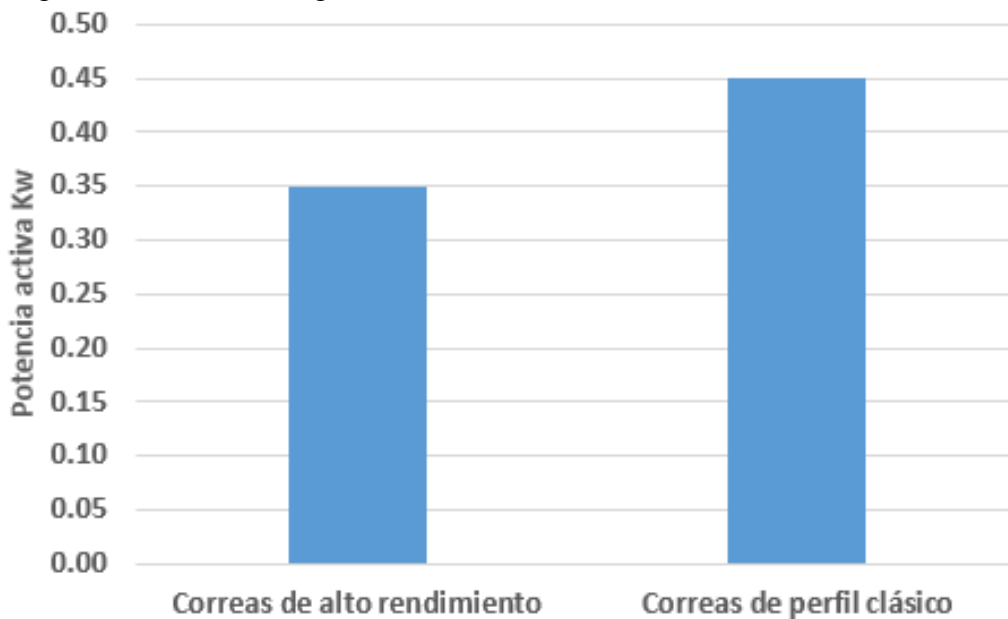
Tabla 42. Análisis de resultado con el método de la frecuencia de vibraciones.

Tensado con el método de frecuencia d vibraciones								
Fuerza [N]	Tensión T1 [N]	Dz	1-Dz	Potencia activa [kw]	Carga del motor	FFB, Calculada		RMS
						Hz	Mm/s	
Correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23,								
245,25	361,02	1,09%	98,9%	0,35	17,30	18,13	0,05	1,2
Correas trapezoidales de perfil clásico A-23,								
196,2	285,04	2,2%	97,8%	0,45	17,00	17,90	0,13	1,13

Fuente: Autor

Con el método de la frecuencia de vibraciones, las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 son las más eficientes que las correas trapezoidales de perfil clásico A-23 como se detalla en la figura 48.

Figura 48. Calidad energética con el método de la frecuencia de vibraciones

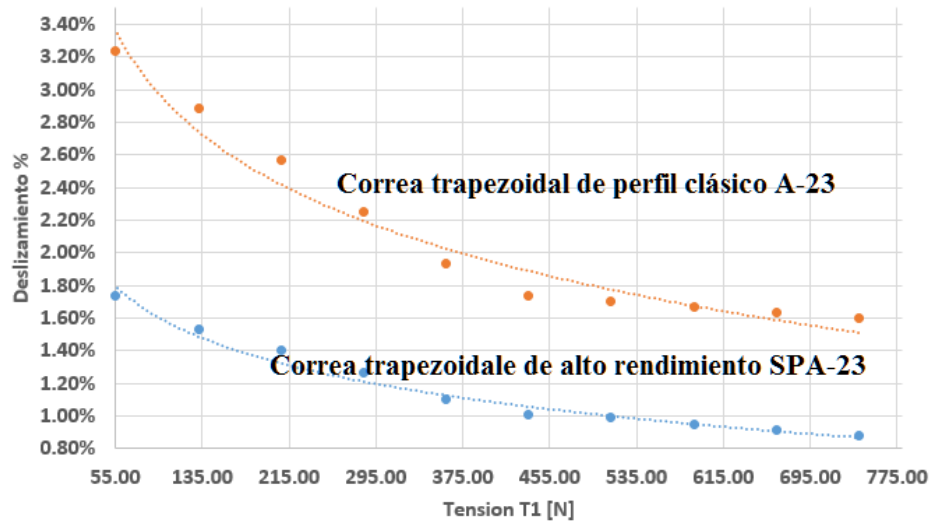


Fuente: Autor

5.7 Correas trapezoidales SPA-23 Vs correas de perfil clásico A-23.

5.7.1 *Deslizamiento en correas SPA-23 vs correas de perfil clásico A-23.* Para determinar la correa más eficiente se compara el deslizamiento en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 con la correa trapezoidal clásico A-23, como se detalla en la figura 49. La correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 es la más eficiente en comparación con la correa trapezoidal clásica (observe las tablas 21 y 22).

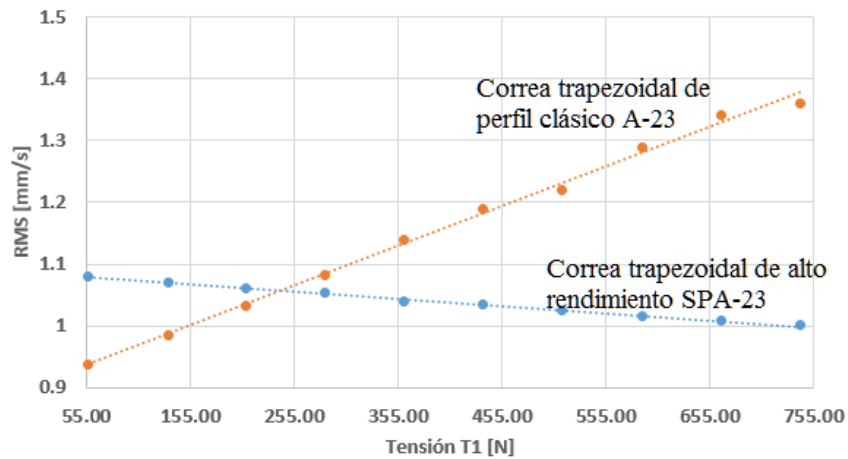
Figura 49. Correa trapezoidal de alto rendimiento Vs correa de perfil clásico.



Fuente: Autor

5.7.2 *Vibraciones en la correa SPA-23 vs correas de perfil clásico.* Se compara el nivel de vibración global RMS de la correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 con la correa trapezoidal de perfil clásico A-23, como se detalla en la figura 50, donde la correa de alto rendimiento SPA-23 es la más eficiente (observe las tablas 28 y 30).

Figura 50. Vibraciones en correas de alto rendimiento vs correas de perfil clásico.

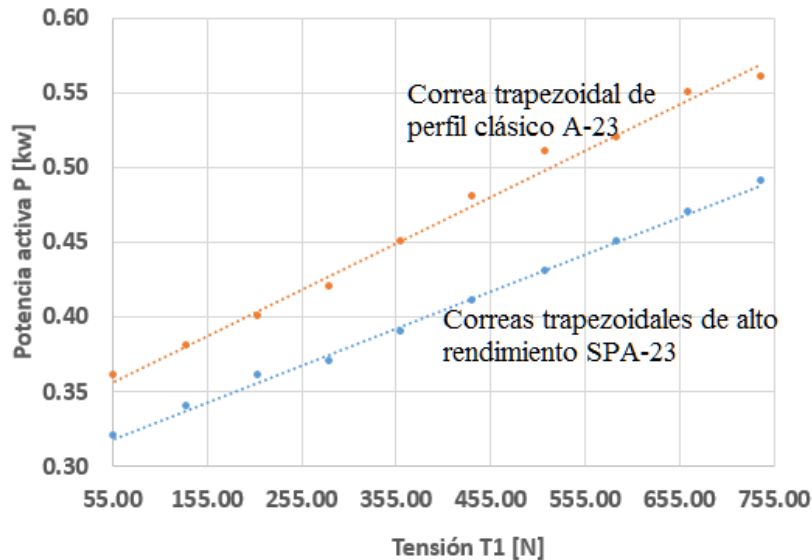


Fuente: Autor

5.7.3 *Calidad energética en la correa SPA-23 vs correas de perfil clásico.* En la figura 51 se ilustra la comparación del consumo energético en las correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 con la correa trapezoidal de perfil clásico A-23, donde la correa de alto rendimiento consume menos energía para generar el mismo trabajo, por ende, la

correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 es la más eficiente que la correa de perfil clásico (observe las tablas 24 y26)

Figura 51. Calidad energética en correas de alto rendimiento vs correas de perfil clásico



Fuente: Autor

5.8 Tensado óptimo en el sistema de transmisión.

Para un tensado óptimo en un sistema de transmisión utilice una correa trapezoidal de alto rendimiento ya que son las más eficientes (observe las figuras 49 ,50 y 51).

En la tabla 43 se representa los factores principales de un sistema de transmisión, donde un tensado óptimo es cuando el motor eléctrico trabaja al 80% de su carga nominal y consume una potencia activa es de 0,41 kw.

El deslizamiento es uno de los parámetros más importantes en un sistema de transmisión, donde la eficiencia de transmisión del sistema es de 99,01% con un deslizamiento del 0,99% con una tensión de 437,05 Newton y donde la balanza digital ejerce una fuerza de 294 Newton, como se detalla en la tabla 43.

Mediante el análisis vibracional se ha determinado el tensado óptimo de la correa trapezoidal, es cuando la frecuencia fundamental de la banda calculada FFB es de 18,27 Hz con una amplitud de 0,19 mm/s y el nivel de vibración global RMS es de 1,035 mm/s observe la tabla43.

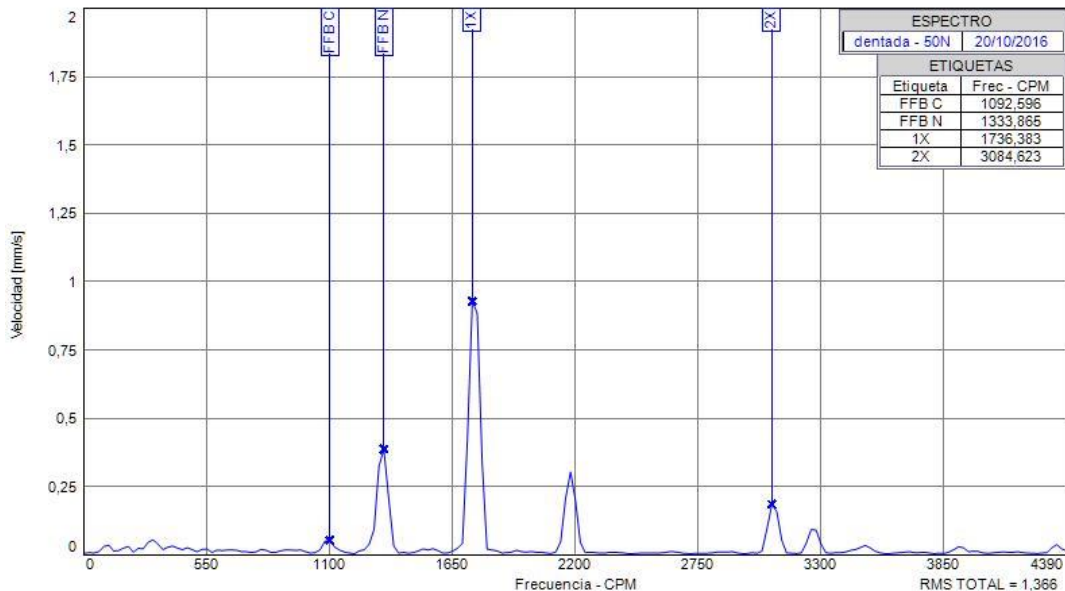
Tabla 43. Tensado optimo con las correas de alto rendimiento SPA-23

Tensado optimo con las correas de alto rendimiento SPA-23,								
Fuerza [N]	Tensión T1 [N]	Dz	1-Dz	Potencia activa [kw]	Carga del motor	FFB, Calculada		RMS
						Hz	mm/s	
49,05	56,76	1,73%	98,30%	0,32	62%	18,80	0,24	1,08
98,1	133,25	1,52%	98,49%	0,34	66%	18,65	0,23	1,071
147,15	209,11	1,39%	98,62%	0,36	70%	18,55	0,22	1,06
196,2	285,04	1,26%	98,75%	0,37	72%	18,45	0,21	1,053
245,25	361,02	1,09%	98,91%	0,39	76%	18,35	0,20	1,04
294,3	437,05	0,99%	99,01%	0,41	80%	18,27	0,19	1,035
343,35	513,14	0,98%	99,02%	0,43	84%	18,20	0,18	1,026
392,4	589,28	0,94%	99,06%	0,45	88%	18,10	0,17	1,015
441,45	665,48	0,91%	99,09%	0,47	92%	18,00	0,16	1,008
490,5	741,73	0,87%	99,13%	0,49	96%	17,90	0,15	1,001

Fuente: Autor

En el espectro de velocidad, se identifica el tensado optimo del sistema de trasmisión con correas trapezoidales como se observa en la figura 54, donde un espectro con un tensado optimo tiene la característica que alrededor de la frecuencia fundamental de la banda FFB no existe bandas laterales ni piso de ruido, la misma que se encuentra por debajo de las RPM del motor eléctrico

Figura 52. Espectro de velocidad con un tensado ideal.



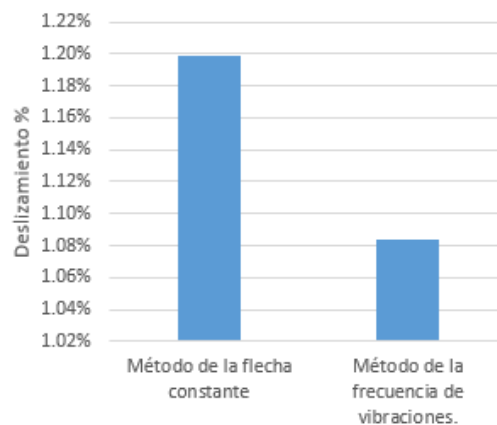
Fuente: Autor

5.9 Método de la flecha constante vs método de la frecuencia de vibración.

5.9.1 *Deslizamiento en método de flecha constante vs frecuencia de vibración.* En la figura 52 se representa la comparación del deslizamiento entre el método de la frecuencia de vibraciones con el método de la flecha constante, donde el método de la frecuencia de vibraciones tiene menos deslizamiento (observe las tablas 33 y 38), por ende, el método de la frecuencia de vibraciones es la más adecuada para realizar el tensado del sistema de transmisión.

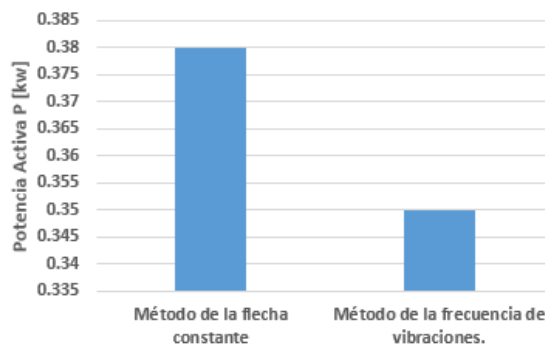
5.9.2 *Calidad energética método de flecha constante vs frecuencia de vibración.* En la figura 53 se representa la comparación del consumo energético entre el método de la flecha constante y el método de la frecuencia de vibraciones, donde el método de la frecuencia de vibraciones consume menos energía para generar el mismo trabajo (observe las tablas 34 y 35), por ende, el método de la frecuencia de vibraciones es la eficiente.

Figura 53. Deslizamiento método de flecha constante vs frecuencia de vibraciones.



Fuente: Autor

Figura 54. Calidad energética método de flecha constante vs frecuencia de vibraciones.



Fuente: Autor

CAPÍTULO VI.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

El módulo de pruebas brinda las facilidades para realizar el estudio del deslizamiento, calidad energética y análisis vibracional en correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 y correas trapezoidales de perfil clásico A-23 establecida por la norma ISO 4184, el tensado se estudió con los métodos de la flecha constante, el método de la frecuencia de vibraciones y el estudio mediante el análisis estático. El módulo tiene 11 elementos como se detalla en la tabla 14. La placa de tensión se le realizó un estudio estático, donde la deformación máxima es de 0,9418 mm (observe la figura 16).

La selección de los elementos que constituyen el módulo de pruebas permite realizar un estudio eficiente, se ha seleccionado un motor eléctrico de 0,5 HP por aspectos de seguridad de los estudiantes, donde las características técnicas se detalla en la tabla 16, se ha seleccionado un alternador de 12 voltios a 35 amperios para simular carga en el sistema de transmisión donde las características técnicas se detallan en la tabla 17, se realizó la selección de una polea de 125 milímetros, finalmente se ha seleccionado la correa trapezoidal clásica A-23 y una correa trapezoidal de alto rendimiento SPA -23 para el estudio del tensado óptimo.

La modelación del banco de pruebas se realizó en el software SOLIDWORKS. Se ha realizado el montaje del motor eléctrico, alternador, báscula digital y la correa trapezoidal como se observa en las figuras 17, 18, 19 y 20.

La tensión y el deslizamiento del sistema de transmisión ayudan a determinar el tensado óptimo de las correas, para el cálculo de tensión se ha utilizado conceptos fundamentales de estática y trigonometría, donde el sistema de ecuación de la tensión del lado tenso T_1 , tensión del lado flojo T y la reacción R en la base del alternador se detallan en la ecuación 33, 34, y 35 y para el cálculo del deslizamiento, se utilizó los conceptos fundamentales de movimiento circular uniforme como se detalla en el inciso 4.2, donde la ecuación empírica se representa en la ecuación 40.

El tensado óptimo en el sistema de transmisión, depende de tres factores principales como son: deslizamiento, calidad energética y análisis vibracional, donde un tensado óptimo y eficiente es cuando el deslizamiento del sistema de transmisión es del 1% y con una eficiencia de transmisión del 99,01%, con una potencia activa de 0,41 kw, donde el motor eléctrico trabaja a 80% de su carga nominal, finalmente los espectros de la frecuencia fundamental de la banda calculada (FFB) es 18,27 Hz con una amplitud de 0,19 mm/s, donde el nivel de vibración global (RMS) es de 1,35mm/s.

El sistema de transmisión es más eficiente si se trabaja con correas trapezoidales de alto rendimiento SPA-23 (observe las gráficas 49,50 y51) y para el tensado utilice el método de la frecuencia de vibraciones ya que es el método más eficiente.

Con los resultados obtenidos mediante el análisis experimental, se pudo establecer una ecuación empírica, que permite calcular el deslizamiento en función de la tensión de la banda, para cualquier sistema de transmisión.

6.2 Recomendaciones.

Toda manipulación del módulo debe ser realizada con cuidado para evitar impactos y daños a los elementos. Terminado el estudio del tensado de las correas se recomienda almacenar el módulo didáctico en un lugar limpio y seco, libre de polvo, vibraciones, gases y agentes corrosivos y con una humedad relativa del aire no superior al 60%.

Previo al ensayo se recomienda verificar visualmente que la correa trapezoidal clásicas A-23 y correa trapezoidal de alto rendimiento SPA-23 que estén en buen estado. Se recomienda verificar el circuito del mando y de potencia del motor eléctrico de 0.5 HP establecida en la figura 21 y verifique la conexión del alternador de la figura 22, no excite al rotor del alternador con más de 7.5 voltios de corriente continua.

Para el cálculo de la tensión del sistema de transmisión, utilice las ecuaciones 33,34 y 35 establecidas en el capítulo 4 y siga los pasos establecidos en el inciso 4.1. Para el cálculo del deslizamiento en las correas trapezoidales utilice la ecuación 41. Para realizar las mediciones de la calidad energética verifique el sentido de la corriente, para ello observe la flecha de las pinzas amperimétrica i400s y para realizar las mediciones de vibraciones

verifique que la base del alternador tenga el torque adecuado para evitar espectros no deseados.

Cuando la tensión de la banda se incrementa el sistema es más eficiente, sin embargo, la vida útil de la banda disminuye, por lo que se recomienda realizar un estudio donde se analice desde el punto de vista costo efectivo a la tensión máxima que se pueda realizar.

BIBLIOGRAFÍA

IS/ISO 2041. *Vocabulario.* Vibración mecánica, golpes y control del estado. *Parte 2:* vibración.

NTE INEN 2498. *Requisitos.* Eficiencia energética en motores eléctricos estacionarios. *Parte 3:* eficiencia nominal.

NSO ISO 1000. *Metrologia.* Sistema internacional de unidades. *Parte 3:* velocidad.

ISO 4184. *Transmisiones por correa.* Correas trapezoidales clásicas y estrechas - Longitudes en el sistema de referencia. *Parte 1:* alcance.

ISO-10816-1. *Vibración mecánica.* Evaluación de la vibración de la máquina mediante mediciones en piezas no giratorias. *Parte I:* Rango de valores límite de la zona típica.

BUDYNAS, Richard; & NISBELTT, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley.* Octava edición. Monterrey- México: McGraw-Hill, 2008, pp. 860-870.

VALLEJO AYALA, Patricio; & ZAMBRANO REJUELA, Jorge. *Física vectorial.* Séptima edición. Quito-ecuador: Rodin, 2010, pp.135-152.

MYSZKA H, David. *Máquinas y mecanismos.* Cuarta edición. Monterrey- México: Pearson educación, 2012, pp. 42-162.

ALEJANDRO OZAETA, Eidelman. “Diseño y generación de transmisiones de potencia por correa trapecial en Solidworks mediante una aplicación en Visual Basic”. *Revista Facultad de Ingeniería*, n°. 35(2013), (Colombia) pp.39-40.

OPTIBELT. “Manual técnico para transmisiones por correas trapeciales”. *Manual técnico* [en línea], 2015, (Canada),pp. 7-50 .[Consulta: 29 junio 2016]. Disponible en: http://www.basco.com.pe/pdf/optibelt/optibelt_manual_tecnico.pdf.

GATES POWER TRANSMISSION. “Mantenimiento preventivo de correas y transmisiones”. *Catalogo de bandas* [en línea], 2004, (U.S.A), pp. 8-10. [Consulta: 31 julio 2016]. Disponible en: <http://motors-engineering.com/reductors/docs/gates.pdf>.

A-MAQ S.A. “Tutoriales de analisis de vibracion ”. *Analisis de maquinas* [en línea], 2005, (Colombia), pp. 5-10. [Consulta: 31 agosto 2016]. Disponible en: www.a-maq.com.

SKF. “Correas trapezoidales”. *Metodo de tenzado* [en línea],2016. [consulta: 25 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.skf.com/co/our-company/index.html>

TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE. *Lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones.* Diagnóstico de bandas.